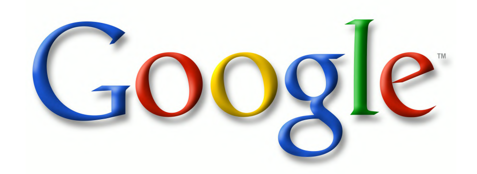


Aus Natur und Geisteswelt

Sammlung wissenschaftlich-gemeinverständlicher Darstellungen



S. Oppenheim

Das astronomische Weltbild im Wandel der Zeit



Verlag von B. G. Teubner in Leipzig



Verlag von B. G. Teubner in Leipzig.

Künstlerischer Wandschmuck

für Haus und Schule. Farbige Künstlersteinzeichnungen

Größere Blätter:

Kleinere Blätter:

Bunte Blätter:

Aus Natur und Geisteswelt
Sammlung wissenschaftlich-gemeinverständlicher Darstellungen
110. Bändchen

Prager Hochschulkurse, Band II

Das astronomische Weltbild im Wandel der Zeit

Von

Prof. Dr. S. Oppenheim
in Prag

Mit 24 Abbildungen im Text

Motto:
So schafft sich der Mensch Organe, die, mit Scharfsinn angewendet, neue Weltansichten eröffnen. Humboldt-Kosmos.



Druck und Verlag von B. G. Teubner in Leipzig 1906

Vorwort.

Das vorliegende Buch ist entstanden aus einem sechsstündigen Zyklus von Vorträgen, welche der Verfasser auf Veranlassung des Ausschusses für volkstümliche Hochschulkurse der k. k. deutschen Universität in Prag gehalten hat. Es bezweckt dem Leser in leichtverständlicher Form einen Einblick zu bieten in den Entwickelungsgang der ganzen Astronomie, mit besonderer Hervorhebung jenes Teiles derselben, welcher den kulturhistorisch so bedeutungsvollen Kampf umfaßt, den die zwei wichtigsten Weltanschauungen, die geozentrisch-aristotelisch-ptolemäische und die heliozentrisch-koppernikanische, gegeneinander führten.

Diesem Ziele entsprechend ist die Behandlung des Stoffes keine gleichmäßige. Nach einem kurzem Überblicke über die Anfänge der Astronomie und die Leistungen der älteren Kulturvölker Asiens und Afrikas geht die Betrachtung sofort in größerer Ausführlichkeit auf die astronomische Tätigkeit der Griechen über und schildert das diesem Volke eigentümliche geozentrische Weltbild, wobei auch die schon damals unternommenen Versuche, es durch ein heliozentrisches zu ersetzen, nicht unerwähnt bleiben. Daran schließt sich nur ein kurzer Bericht über die Arbeiten des Mittelalters, worauf erst wieder eine eingehende Behandlung der Reformation der Astronomie oder der Begründung des heliozentrischen Systems durch Koppernikus, Galilei, Keppler und Newton folgt. Das Schlußkapitel ist der astronomischen Tätigkeit der Neuzeit gewidmet und enthält eine gedrängte Übersicht über die Errungenschaften der Astronomie seit Newton.

Karolinenthal-Prag, im Frühjahr 1906.

Dr. S. Oppenheim.

Inhalt.



I. Die Anfänge der Astronomie.

§ 1. Die Summe aller Vorstellungen und Anschauungen, die sich die Menschen einer bestimmten Zeit über die Erscheinungen und Vorgänge am Sternenhimmel bilden, nennt man das astronomische Weltbild dieser Epoche. Die ersten Anfänge seiner Entwickelung gehen in dasselbe sagenhafte Dunkel zurück, wie die Urgeschichte der Menschheit selbst. Wohl niemals wird sich der Zeitpunkt feststellen lassen, wann die ersten Menschen anfingen, ihrer geistigen Fähigkeiten bewußt zu werden und in der sie umgebenden Natur Umschau zu halten. Ebensowenig dürfte auch der Moment bestimmbar sein, wann sie die erste astronomische Betrachtung angestellt haben. Vielmehr weisen viele Umstände darauf hin, daß diese zwei Momente identisch sind und daß daher die Astronomie zu den ältesten unter den Naturwissenschaften zu zählen ist.

In der Tat sind die ersten und gewaltigsten Eindrücke, die der Mensch empfängt und die seine Sinne gefangen nehmen, astronomischen Ursprunges. Naturerscheinungen, wie der ewige Wechsel von Tag und Nacht, die regelmäßige Folge in dem Stande der Sonne am Himmel, die sich in dem jährlichen Wechsel der Jahreszeiten kundgibt, mußten schon frühzeitig die Aufmerksamkeit der Menschen auf sich lenken, namentlich da ihr ganzes Leben und ihre Wohlfahrt mit unauflöslichen Banden an sie geknüpft erschien. Diesen ersten und auffälligsten Wahrnehmungen reihten sich bald andere weniger einflußreiche an, wie die Änderungen in den Phasen des Mondes, daß er bald als volle, hellglänzende Scheibe die Nacht erleuchtet, bald nur zum Teil sichtbar ist, bald ganz verschwindet, um endlich wieder als schmale Sichel am Himmel aufzutauchen, und endlich der Anblick des nächtlichen Himmels selbst mit seiner Unzahl funkelnder Sterne, die in streng bestimmten Bahnen an ihm einherziehen. Mit diesen Beobachtungen waren die ersten

Keime einer astronomischen Wissenschaft gelegt, besonders wenn sie nicht mehr zufällig, sondern zielbewußt gemacht wurden und wenn sich mit ihnen die Erkenntnis von dem von Ewigkeit her geordneten und unveränderlichen Lauf dieser Erscheinungen verband.

§ 2. Die erste praktische Anwendung fanden diese gewonnenen Erfahrungstatsachen in der Zählung der Zeit.

Das in der Natur nächstliegende Maß der Zeit ist der Tag als Zwischenzeit zwischen zwei aufeinanderfolgenden Auf- und Untergängen der Sonne. Das einfachste Verfahren, die Tage zu zählen, bestand darin, bei jedem Tagesanbruche irgend ein Merkzeichen in Holz oder Stein einzuschneiden und diese Marken dann in Gruppen zu ordnen, oder direkt Steine in Haufen zu schichten. Sowohl die Gruppen der Marken als auch die Haufen der Steine dürften nach der Zahl 5, entsprechend den fünf Fingern der Hand, oder nach der Zahl 10, als der Zahl der Finger an beiden Händen, abgemessen worden sein. Bei mancheu Völkern fand sich auch eine Abmessung nach der Zahl 20 vor, d. i. nach der Zahl der Finger an den Händen und der Zehen an den Füßen. Eine solche Gruppe von 5, 10 oder 20 Tagen galt dann als nächst höherer Zeitabschnitt, nämlich als Woche, und zwar als kleine Woche mit 5 oder als große mit 10 Tagen.

Indes wird es bald zu mühsam geworden sein, die Zeit bloß nach Tagen oder Wochen zu zählen, da die Kürze dieser Zeiteinheiten sehr große Zahlen erfordert, um selbst mäßige Zeiträume zu bezeichnen. Als eine weitere höhere Zeiteinheit zeigte sich der Umlauf des Mondes durch die Veränderungen seiner Gestalt, dessen Dauer von ungefähr 30 Tagen auch tatsächlich gut in die Woche von 5 oder 10 Tagen paßte. Ein Monat, als die Dauer des Umlaufes des Mondes zählte entweder 6 kleine oder 3 große Wochen. Eine letzte und wohl auch schwierigste Beobachtung fiel endlich auf den großen Zeitabschnitt, das Jahr, als die Dauer, in der die Sonne ihren wechselnden Stand am Himmel vollendet und von der hauptsächlich die Tätigkeit der Menschen, wie Aussaat und Ernte abhängig schien.

Manche Völker zählten die Zeit bloß nach Mondumläufen, manche nur nach der Sonne, andere nach beiden und diese bestrebten sich dann, beide Zählungsarten miteinander in Einklang zu bringen, d. h. die Zählung so einzurichten, daß keine Ver-

schiebung des Anfangspunktes der Zählung oder des Jahresanfanges mit den Jahreszeiten eintrete, der Jahresanfang also immer wieder in den gleichen Sonnenstand, wie auch der Monatsanfang immer in die gleiche Mondesphase falle. Gewiß werden sich die Menschen anfangs vielfach über die Dauer des Jahres geirrt haben, ehe sie die richtige Zahl und damit das richtige Verhältnis zwischen dem Umlauf der Sonne und dem des Mondes fanden. Die Geschichte erzählt hier, daß die erste angenommene Monatslänge 30 Tage und das Jahr 12 solcher Monate, daher $12 \times 30 = 360$ Tage umfaßte. Es ist bekannt, daß diese Zählung unserer noch heute üblichen Einteilung des Kreises in 360 Grade, jeder Grad zu 60 Minuten, und jede Minute zu 60 Sekunden zugrunde liegt und daß infolge dieser Teilungsart noch bis in die jüngste Zeit bei allen Maßeinheiten, der Länge, des Raumes wie der Mengen, mit Vorliebe Teilungen nach den Zahlen 6, 12 oder 60 gewählt wurden und gültig waren. Nicht einmal den französischen Revolutionsmännern gelang es, mit dieser mehr historisch merkwürdigen als praktischen Vorliebe für diese Zahlen zu brechen. Erst eine internationale Konvention führte im Jahre 1875 die dekadische Einteilung aller Maße ein mit Ausnahme jener der Zeit und der Winkel, bei denen trotz aller reformatorischen Bestrebungen noch immer das alte Teilungsverfahren sich behauptet.

Es braucht weder sehr langer Erfahrungen noch sehr großer Aufmerksamkeit, um zu bemerken, daß der Mondwechsel nicht genau 30 Tage, der Sonnenwechsel dagegen mehr als 360 Tage dauere. Nach Verlauf schon weniger so gezählter Monate und Jahre mußte nämlich eine fühlbare Verschiebung des Jahresanfanges mit den Jahreszeiten und des Monatsanfanges mit den Mondphasen eintreten. Um diese Verschiebung auszugleichen und die Übereinstimmung wieder herzustellen, wurde dann gesetzlich eine Einschaltung von mehreren Tagen angeordnet. Selbstverständlich war dieses Schaltungsverfahren bei verschiedenen Völkern verschieden. Bei den Griechen, von denen historische Berichte über die aufeinanderfolgenden Verbesserungen des Zählungs- und Ausgleichsverfahrens aus ältesten Zeiten vorliegen, waren folgende Zyklen gebräuchlich. Um die Zeit Homers und Hesiods etwa 1000—850 v. Chr. zählte man

6 sogenannte volle Monate zu 30 Tagen,
6 „ leere „ „ 29 „

und gab so einem Jahre von 12 Monaten die Zeit von 354 Tagen, also eine viel zu kleine Dauer, die bald eine merkliche Verschiebung des Jahresanfanges mit den Jahreszeiten nach sich zog, während dagegen die Dauer eines Monates zu 29,5 Tagen sich ziemlich genau erwies. Um die Zeit Solons (600 v. Chr.) wurde eine neue Verbesserung des Kalenderwesens angeordnet. Diese bestand in der Einschaltung eines ganzen vollen Monates von 30 Tagen nach je 2 Jahren. Es zählten daher 2 Jahre

13 volle Monate zu 30 Tagen,
12 leere „ „ 29 „ .

Im ganzen enthielten daher 2 Jahre 25 Monate oder 738 Tage, so daß damit die Jahreslänge zu 369 und die Dauer eines Monates zu $738 : 25 = 29{,}52$ Tagen fixiert erschien. Aber auch hiermit war die Jahreslänge noch sehr ungenau bestimmt. Das folgende Schaltverfahren, die sogenannte Oktaëteris. ordnete eine Einschaltung von 3 vollen Monaten an innerhalb einer Periode von 8 Jahren und zwar jedes 3., 5. und 8. Jahr. Es bestand darnach ein Zeitraum von 8 Jahren aus

$8 \times 6 + 3 = 51$ vollen Monaten zu 30 Tagen und
$8 \times 6 = 48$ leeren „ „ 29 „ ,

im ganzen also aus 2922 Tagen. Die Jahreslänge betrug daher $2922 : 8 = 365{,}25$ und die Monatsdauer $2922 : 99 = 29{,}515$ Tage. Diese Zahlen kommen der Wahrheit schon ziemlich nahe. Die letzte Verbesserung brachte endlich Meton um 450 v. Chr. durch Aufstellung eines 19 jährigen Zyklus mit 7 Schaltmonaten im 3., 5., 8., 11., 13., 15. und 17. Jahre. Nach diesem umfaßte der Zeitraum von 19 Jahren $12 \times 29 + 7 = 235$ Monate, von denen

125 voll zu 30 Tagen
110 leer „ 29 „

angesetzt waren. Oder, da 19 Jahre = 235 Monate 6940 Tage hatten, ergab sich die Länge eines Jahres zu $6940 : 19 = 365{,}26$ Tagen und die Dauer eines Monates zu $6940 : 235 = 29{,}53$ Tagen. Damit war schon eine ziemlich große Genauigkeit erzielt, denn nach den neuesten Bestimmungen beträgt die Jahreslänge 365,2422 und die Monatsdauer 29,5306 Tage. Bekanntlich ist dieser Zyklus noch heute im christlichen

Kalender bei der Bestimmung der sogenannten beweglichen Festtage, d. h. jener, die nicht auf einen bestimmten Jahrestag fallen, sondern nach dem Mondlauf sich richten, maßgebend.

Ganz anders war die Zeitrechnung bei den Ägyptern. Bei denen war ein reines Sonnenjahr zunächst zu 360 Tagen geltend. Als Jahresanfang galt der Beginn der Nilüberschwemmungen, die ja für das ganze Land von größter wirtschaftlicher Bedeutung waren und noch sind. Astronomisch kündigte sich dieser Zeitmoment dadurch an, daß die Sonne beim Herannahen dieser Periode mit dem hellen Sterne „Sirius" gleichzeitig aufging, d. h. dieser Stern in der Morgendämmerung zu sehen war. Bald wurde nun statt des Beginnes der Nilüberschwemmung dieser Moment selbst, nämlich der heliakische Aufgang des Sirius als Jahresanfang gesetzlich angeordnet. Eine aufmerksame Beobachtung zeigte, wohl nicht nach gar zu langer Zeit, daß, wenn man das Jahr zu 360 Tagen annahm, schon nach wenigen Jahren die beiden Momente, nämlich der Beginn der Nilüberschwemmung und der des gleichzeitigen Aufganges des Sirius mit der Sonne, sich sehr bedeutend gegeneinander verschoben. Die Mythe erzählt, daß der Gott Thot der Mondgöttin Isis im Brettspiel 5 Tage abgewonnen habe, die er den Menschen zu den bisherigen 360 Tagen des Jahres als Zugabe weihte. Doch auch die Annahme der Jahreslänge zu 365 Tagen bewirkte zwar nun nicht mehr so rasch wie bei der Annahme von 360 Tagen, sondern erst nach je 4 Jahren eine Verschiebung des heliakischen Siriusaufganges gegen den Jahresanfang um einen Tag, so daß nach je 4 × 365 oder 1640 Jahren erst dieser Aufgang mit dem Jahresanfang zusammenfiel, der Sirius daher wieder am ersten Morgen des ersten Monates des Jahres gleichzeitig mit der Sonne aufging. Die Ägypter nannten diese große Periode die Sothisperiode und die Tatsache, daß ihnen diese bekannt war, bezeugt, daß sie die Dauer eines Jahres zu 365 $^1/_4$ Tagen gefunden haben. Wie bekannt, bildet diese Zahl die Basis des von Julius Caesar eingeführten julianischen Kalenders in der Weise, daß auf je 3 Jahre zu 365 ein Schaltjahr von 366 Tagen folgt.

Neben diesen einfachen Zählungen der Tage in einem Monate oder einem Jahre erfolgte schon in sehr alten Zeiten und hauptsächlich bei jenen Völkern, die die Mondrechnung und

ihren Ausgleich mit der Sonnenzeit als Basis ihres Kalenders angenommen hatten, noch die Entdeckung eines dritten Zyklus, nämlich die einer Periodizität in den Erscheinungen der Sonnen- und Mondfinsternisse. Es ist auch nicht schwer festzustellen, wie diese Entdeckung vor sich ging. Zunächst kam die erste und einfachste Erkenntnis, daß eine Mondesfinsternis nur bei Vollmond, eine Sonnenfinsternis nur bei Neumond stattfinde, dann die, daß nicht bei jedem Vollmond eine Mondes- ebensowenig wie bei jedem Neumond eine Sonnenfinsternis eintreffe. Aus dieser Erkenntnis entsprang schließlich das Bestreben, die Zwischenzeit zwischen den aufeinanderfolgenden Finsternissen zu zählen. Es ergab sich diese zu 18 Jahren 11 Tagen oder 223 Mondumläufen, innerhalb welcher Zeit alle Finsternisse genau an denselben Jahres- und Monatstagen wiederkehrten. Die Babylonier kannten diese Periode, die sie Saros nannten, schon im grauesten Altertume und gründeten auf sie eine festgeregelte Praxis der Voraussage von Finsternissen. Thales, der bekannte griechische Philosoph, dürfte sie auf seinen Reisen kennen gelernt haben und erregte durch die Vorhersage der Finsternis vom 28. Mai 585 v. Chr. das Staunen seiner Mitbürger. Wahrscheinlich war die Saros auch den Chinesen bekannt. Wenigstens erzählt die Mythe, daß zwei Beamte, Hi und Ho, die Todesstrafe erlitten, weil sie wegen eines Saufgelages versäumt hatten, eine Sonnenfinsternis rechtzeitig anzukündigen. Dies mußte nämlich nach chinesischem Ritus immer einige Tage vor ihrem Eintreffen geschehen, damit der Kaiser und die Großen des Reiches sich auf sie durch Fasten vorbereiten und ihr dann vorschriftsmäßig beiwohnen.

Es würde hier viel zu weit führen, alle Methoden und Vorschriften kennen zu lernen, die bei den Völkern der Erde üblich waren, um die Zählung der Zeit zu regeln. Schon die wenigen angeführten Beispiele dürften genügen zu zeigen, wie jede dieser Bestimmungen einen Fortschritt der Astronomie bedeutet, nämlich eine langsam aber stetig fortschreitende Genauigkeit in der Kenntnis der Umlaufzeiten von Mond und Sonne um die Erde.

§ 3. Doch die nüchterne Beobachtung der regelmäßigen Wiederkehr der Erscheinungen am Himmel, die die Zeitrechnung erfordert, war damals und ist auch heute nicht die einzige Aufgabe der Astronomie. Die Pracht des gestirnten Himmels in

seiner unergründlichen Tiefe hat in den Menschen noch andere Fragen angeregt. Namentlich brachte sie die Regelmäßigkeit und Gesetzmäßigkeit im Verlaufe der Himmelserscheinungen in Verbindung mit dem Walten höherer, beseelter Mächte, mit dem ewigen Willen der Götter, welche die Geschicke der Menschen leiten. Astronomie und Götterverehrung oder Religion standen in jenen fernen Zeiten miteinander in innigstem Kontakt und beeinflußten sich gegenseitig. Die ersten Anfänge einer jeden Religion sind astronomischen Ursprunges. Sie lassen sich meist, um nicht zu sagen stets, zurückführen auf die Verehrung des Lichtes und seiner Repräsentanten, der strahlenden Sonne oder des freundlicher leuchtenden Mondes, und auf die Scheu und Furcht vor dem Dunkel, in welches sich die Erde nach Untergang der Sonne hüllt. Die Kulturgeschichte lehrt, wie bald das Blau des Himmels als Sitz der Gottheit angesehen wurde, von dem aus sie die Erscheinungen der Sternenwelt als unmittelbare Offenbarungen ihres Willens regelte, bald wieder die Natur des Landes, in dem das Volk wohnte, zu dem Glauben an die Sonne als den größten und einzigen Gott, bald zu dem Glauben an den Mond führte, der durch sein sanftes Licht die Hitze des Tages zu mildern schien und daher mehr als die Sonne verehrt zu werden verdiente. Dieselben Ursachen bei den Völkern und dennoch verschiedene Religionen als Wirkung davon, hervorgerufen dadurch, daß die verschiedenen Lebensverhältnisse dem Glauben an die Himmelskörper ein sehr verschiedenes Gepräge gaben. Gemeinsam ist nur allen Völkern die Verknüpfung von Religion und Astronomie, die Heiligkeit der letzteren und ihre Pflege durch die Priester als Vermittler zwischen dem Willen der Gottheit und den Wünschen der Menschen.

Sowie noch heute der Muezzin von der Höhe des Minarets fünfmal des Tages die Gläubigen zum Gebete zusammenruft, so hat schon vor 5000 Jahren der babylonische Balpriester, auf dem obersten Teil des Tempels stehend, den funkelnden Sternenhimmel betrachtet und nach dem ersten Erscheinen der Mondsichel ausgeschaut. Ebenso war es bei den Griechen und Römern üblich, dieses erste Sichtbarwerden des Mondes öffentlich auszurufen. Daher auch der Ausdruck „Kalender“ von kaleo = ausrufen. Die Tempel der Völker, die Pyramiden der Ägypter waren entweder nach bestimmten Weltgegenden oder direkt nach der Auf- und Untergangsrichtung

gewisser Sterne gebaut. Selbst noch im Mittelalter wurden viele christliche Kirchen so gestellt, daß die Sonne bei ihrem Auf- oder Untergange am Gedächtnistage des Heiligen, dem die Kirche geweiht war, ihre Strahlen längs der Axe der Kirche warf. Manches Wunder, das in alten Zeiten von Priestern vollbracht wurde und das darin bestand, daß an einem bestimmten Tage zu einer bestimmten Stunde die Sonne ihre blendenden Strahlen zum Staunen der versammelten gläubigen Menge durch eine geheimnisvolle Öffnung in den sonst dunklen Innenraum des Tempels warf oder um den Kopf des Priesters eine blendende Aureole bildete, läßt sich astronomisch darauf zurückführen, daß die Tempelaxe genau dem Stande der Sonne an diesem Tage und zu dieser Stunde entsprach.

Alles dieses setzt nicht unbedeutende astronomische Kenntnisse voraus und die Fortschritte der Astronomie, die sie ihrer Verbindung mit der Religion verdankt, sind keineswegs gering anzuschlagen. Die von den Priestern angestellten Beobachtungen zielten nicht einzig darauf hin, die Tage in jedem Mond- oder Sonnenumlaufe zu zählen, und diese Zahlen so miteinander in Übereinstimmung zu bringen, daß gewisse den Göttern geweihte Festtage stets auf durch einen bestimmten Sonnenstand sich auszeichnende Jahrestage fielen. Es galt vielmehr, den Erscheinungen am Himmel aus dem Grunde mehr Aufmerksamkeit zu schenken, um aus ihnen den Willen der Gottheit herauszulesen.

Der Erfolg blieb auch nicht aus. Zunächst wandte sich die Aufmerksamkeit der beobachtenden Priester von der Sonne und dem Monde hinweg auf den Sternenhimmel. Sie verbanden die einzelnen sichtbaren Sterne miteinander zu Gruppen. Ihrer Phantasie freien Spielraum lassend, gaben sie diesen Gruppen Namen nach zufälligen Ähnlichkeiten mit Menschen- und Tiergestalten, die sich in den Konfigurationen der Sterne zeigen sollten. Oder sie benannten sie nach gewissen Göttern, denen sie sie geweiht hielten. Oder sie brachten sie mit dem Wechsel der Jahreszeiten in Verbindung und benannten sie dann nach ihrer Haupttätigkeit während der Zeit, da die Sonne in dem betreffenden Sternbilde stand. Charakteristisch sind in dieser Richtung die Schilderungen, welche der griechische Dichter Hesiod (800 v. Chr.) in seinem didaktischen Epos „Werke und Tage“ über die Bewegung der Sonne innerhalb der Sternbilder und über ihre Verbindung mit den täglichen Beschäftigungen der Menschen gibt:

Wenn früh die Plejaden, des Atlas Töchter, emporgehen,
dann sei der Ernte Anfang und des Saatpfluges, wenn sie hinabgehen.
Wenn Orion nunmehr und Sirius mitten zum Himmel
aufsteigt und den Arktur anschaut die rosige Eos,
jetzt dir, Perses, gepflückt die sämtlichen Trauben und heimwärts! aber sobald nun
auch Plejad und Hyade zugleich mit dem starken Orion
untergehen, dann mußt du des Saatpfluges wieder gedenken.
Zeit nun ist's und das Jahr für den Landbau wäre geordnet.

Was in diesen Versen für die Astronomie als das wichtigste zu bezeichnen wäre, ist die Einsicht, die sich in ihnen ausspricht, daß der Dichter und auch das Volk mit ihm schon ziemlich genau über den Lauf der Sonne und des Mondes innerhalb der Sterne orientiert waren, d. h. daß sie die Sterne kannten, die zu den verschiedenen Jahreszeiten mit Sonnenuntergang in der Abenddämmerung auftauchen oder vor Sonnenaufgang in der Morgendämmerung sichtbar sind und daß sie ihre Tagesbeschäftigung mehr nach jenen als nach der Sonne selbst richteten.

Astronomisch dürfte man die Bahn der Sonne zwischen den Sternen als einen breiten Gürtel angesehen haben, welcher um den ganzen Himmel läuft und gegen den Horizont eine bestimmte Neigung hat, während die Auffassung dieser Bahn als eine Linie oder als einen größten Kreis an der scheinbaren Himmelskugel wohl erst einer späteren Zeitperiode angehört. Man teilte dann diesen Gürtel nach den 28 Tagen, die der Mond braucht, um ihn zu durchlaufen in 28 Mondhäuser oder Mondstationen, oder nach den 12 Monaten als der Dauer eines Jahres in 12 Sonnenstationen, die man Tierkreisbilder nannte. Abbildungen dieser Tierkreisbilder wurden vielfach ausgeführt und sind auch bis heute erhalten geblieben.

Es ist auf verschiedene Weise und durch viele gelehrte Hypothesen versucht worden herauszufinden, welchem Volke sowie auch welcher Zeit man die Entstehung und Benennung dieser Bilder verdankt, ohne aber bis heute ein einwurffrei richtiges Resultat zu erlangen. Tatsache ist, daß fast alle Kulturvölker des Altertums, Chinesen, Inder, Babylonier, Griechen, Ägypter und Römer dieselben Gruppierungen der Sterne zu Sternbildern d. h. den gleichen Zodiakus besaßen. Erst die Entzifferung

vieler keilinschriftlichen Tontafeln in der jüngsten Zeit hat es sehr wahrscheinlich gemacht, daß die Sternbenennungen und bildlichen Darstellungen der Sterngruppen auf Grund religiöser und kosmogonischer Mythen den Babyloniern etwa um die Zeit 2—3000 v. Chr. zuzuschreiben sind und nicht den Griechen, wie man früher anzunehmen geneigt war, und daß diese Sternbilder und die sich an sie anknüpfenden Mythen von den Babyloniern sowohl nach Westen zu den Griechen, Ägyptern und Römern wie nach Osten zu den Indern und Chinesen gedrungen sind.

§ 4. Doch neben dieser genauen Kenntnis des Sternenhimmels verdankt die Astronomie jenen entlegenen Zeiten noch die Entdeckung der Planeten. Fortgesetzte und gesteigerte Aufmerksamkeit, mit der man den Sternenhimmel betrachtete, zeigte, daß es neben den Sternen, die unwandelbar zu denselben Gruppen vereint am Himmel nebeneinander stehen, auch noch andere gebe, welche sich zwischen ihnen bewegen. Man verfolgte sorgsam ihre Bewegungen und fand, daß sie ganz eigentümliche verschlungene und verwickelte Bahnen beschreiben. Ihr Lauf zeigte sich bald schneller, bald langsamer als der der Sterne, bald sogar diesen entgegengesetzt gerichtet, bald schienen sie ganz zwischen ihnen stille zu stehen, ja zuweilen verschwanden sie und waren einige Zeit unsichtbar. Im großen und ganzen war wohl ihre Bewegung zwischen den Sternen vorwärts gerichtet, wie die von Sonne und Mond, da die rückläufigen Bewegungen (Retrogradationen) und Stillstände (Stationen) stets nur kurze Zeit dauerten, und die rechtläufigen Bewegungen jene bei weiten übertrafen. Aber die Zeit, die sie zu einem vollständigen Umlauf am Himmel benötigten, war für jeden eine andere. Fünf solcher Sterne zeigte der Himmel und es lag nunmehr die Aufgabe vor, die Dauer des Rückwärtsschreitens, die Momente ihres Stillstandes und ihre vollen Umlaufsperioden, d. h. die Zeiten ihrer Wiederkehr zu demselben Sterne am Himmel, zu bestimmen.

Ebenfalls erst in den letzten Jahren entzifferte Keilinschrift-Tontafeln liefern den Nachweis, daß die Babylonier des 5. Jahrhunderts v. Chr. Geburt bereits die großen Perioden kannten, in denen die Planeten ihren Umlauf am Himmel zurücklegen. Da aber diese Perioden, wie beispielsweise die des Saturn, fast ein Menschenalter umfassen, so ist klar, daß nur eine vielhundertjährige Verfolgung der Planeten die Babylonier

zur Kenntnis dieser Perioden geführt haben wird und ihre Entdeckung daher in eine Zeit fällt, die mindestens 1000 Jahre zurückreicht.

Die Entdeckung der 5 Planeten, die sich nach ihrem Aussehen und dem Anblick, den sie dem unbewaffneten Auge bieten, in nichts von den unbeweglichen oder fixen Sternen unterscheiden, beweist, daß die Menschen der damaligen Zeit eine äußerst genaue Kenntnis des Sternenhimmels haben mußten, um aus dem Sternengewimmel gerade jene herauszufinden, die besondere Bewegungen zeigen. Wohl jedem drängt sich da die Frage auf, ob alle Menschen oder doch nur einige bevorzugte unter ihnen, wie etwa die Priester, denen ja die regelmäßige Beobachtung des Himmels aus religiösen Gründen oblag, diese genaue Kenntnis des Sternenhimmels hatten und woher es denn komme, daß es heutzutage selbst unter den Gebildeten mit dieser Kenntnis so schlecht bestellt sei? Die Antwort auf diese Frage ist nicht schwer zu geben.

Der ewig blaue Himmel, der sich über Babylonien und Ägypten, Griechenland und Italien wölbt, die Reinheit der Luft, der sich diese Länder erfreuen, wie auch nicht minder der Umstand, daß die Menschen wegen der großen Tageshitze meist abends oder sogar erst in der Nacht ihrer Beschäftigung nachgehen, während sie bei Tage ruhen, bringt es mit sich, daß bei ihren Bewohnern die Kenntnis der Sterne viel weiter verbreitet und in das Volk weit mehr eingedrungen ist, als bei uns in Mitteleuropa Wir sehen die Sterne nur selten, teils wegen der vielen Nebel und dichten Wolken, die oft den ganzen Himmel bedecken, teils wegen der vielen Dünste, die den Horizont fast immer umlagern, teils aber auch wegen der abendlichen hellen Beleuchtung der Straßen, die den Glanz der Sterne verschwinden läßt. Und da wir den Anblick des Fixsternenhimmels nur selten haben, so gewöhnen wir uns auch bald, gleichgültig an ihm vorbeizugehen, verlieren das Interesse für ihn und der berühmte Ausspruch von Kant, daß der Anblick des gestirnten Himmels unser Gemüt mit immer neuer und zunehmender Ehrfurcht und Bewunderung erfülle, je öfter sich das Nachdenken mit ihm beschäftige, findet auf uns leider selten Anwendung. In unseren Gegenden hätte daher die Astronomie die Richtung nicht einnehmen und die Fortschritte nicht aufweisen können, welche sie in der Ländern des Euphrat und Nil und längs des

Mittelländischen Meeres eingeschlagen hat. Ohne das Fernrohr hätten wir die Planeten nur schwer, den Planeten Merkur gar nicht entdeckt. „Die Alten," sagt Koppernikus, „waren von einem heiteren Himmel begünstigt, da der Nil, wie sie berichten, nie solche Dünste aushaucht, wie bei uns die Weichsel. Uns aber, die wir in einem rauhen Klima wohnen, versagt die Natur diese Bequemlichkeit, da die Luft selten ruhig und außerdem wegen der großen Schiefe der Himmelskugel seltener Gelegenheit ist, den Merkur zu sehen."

Die Entdeckung der Planeten lenkte die Astronomie bald in eine ganz neue Bahn, deren Ziel nicht mehr das der reinen wissenschaftlichen Forschung war, die aber doch auf die Entwickelung der Astronomie sich von besonderem Einfluß erwies, nämlich in die der Astrologie oder Sterndeutung. Ihr Ursprung ist auf dieselben treibenden Kräfte zurückzuführen wie der Ursprung der Religionen unter den Menschen. Aber während diese sich mit einer Verehrung der Himmelskörper und der durch sie repräsentierten göttlichen Mächte begnügten, ging jene einen Schritt weiter. Sie erblickte in den Erscheinungen am Himmel nicht die bloßen Offenbarungen des Willens dieser höhereu Mächte, sondern mehr das Abbild aller Begebenheiten und Ereignisse auf der Erde, der Schicksale der Völker und besonders hervorragender Männer unter ihnen, ja des Lebens und Todes aller lebenden Wesen. Bald glaubte man, daß die ganze Kunst der Astronomen nur darin bestehe, dieses Bild richtig zu deuten und in ihm wie in einem offen daliegenden Buche richtig zu lesen.

Den Anstoß zu diesem Glauben gaben die Planeten. Wohl lehrte die Erfahrung, daß der Aufgang des einen Sternes Sommer, der eines anderen Winter, eines dritten wieder Sturm oder Dürre verkünde, aber Sonne, Mond und Sterne schienen im ganzen doch nur das Bild einer strengen Regel- und Gesetzmäßigkeit abzugeben. Anders dagegen die Planeten. Sowie ihre Stellungen am Himmel nie die gleichen blieben, nie sich wiederholten, schienen sie das Wechselvolle und Zufällige in dem Schicksale der Menschen zu repräsentieren und galten daher, mehr als Sonne und Mond, als die Einflußreichen unter den Sternen, von denen das Schicksal der Menschen auf der Erde abhänge. Fünf solcher Planeten gab es, im Vereine aber mit Sonne und Mond, die ja mit ihnen die Eigenschaft der Be-

weglichkeit unter den Himmelskörpern teilten, erhöhte sich ihre Zahl auf sieben und es galt die Aufgabe zu lösen, alle zwischen ihnen möglichen Stellungen vorauszuberechnen. Bald gehörten Männer, die diese Kunst verstanden, zum notwendigen Zubehör eines jeden Herrscherhauses. So war Xerxes auf seinem Zuge nach Griechenland von einem solchen kundigen Sterndeuter begleitet, so ging es noch in das Mittelalter hinein bis in die neue Zeit, wo berichtet wird, daß Tycho Brahe zum Danke für die ihm vom dänischen Könige geschenkte Insel Hveen das Horoskop für dessen drei Söhne berechnete.

Mag man heute noch so verächtlich auf diese Bestrebungen herabsehen, so wird man doch zugeben müssen, daß ihr Einfluß auf die Astronomie sehr bedeutend war. Ein Resultat ist zunächst eine immer tiefer gehende Kenntnis der Bewegung der Planeten mit allen ihren Eigentümlichkeiten und diese ist für die spätere Entwickelung der Astronomie nicht gering anzuschlagen. Ein zweites, das zwar weniger für die Astronomie wichtig als für die ganze Menschheit von kulturhistorischer Bedeutung wurde, ist eine neue Zeiteinteilung auf Grund der 7 beweglichen Himmelskörper durch Zuweisung eines jeden einem bestimmten Tage und damit die Entstehung der 7 tägigen Planetenwoche an Stelle der alten 5 oder 10 tägigen Fingerwoche. Zur Zeit des Königs Sargon in Babylonien (1600 v. Chr.) scheinen daselbst noch beide Zeiteinteilungen, die Finger- und die Planetenwoche, nebeneinander bestanden zu haben, jene zum alltäglichen Gebrauche, diese für die Festgebräuche und Sterndeuterei. Aber auf die Dauer war die doppelte Zählung nicht haltbar. Mehr und mehr rechnete man nach Festtagen und die Siebenzahl siegte nicht nur in bezug auf Tage und Wochen, sondern auch auf Monate und Jahre, indem jedes 7 mal 7., d. h. 49. Jahr zu einem heiligen Jahr, dem Jubeljahr, wurde. Von Babylonien ging diese 7 tägige Woche aus und beherrschte bald die ganze bekannte Welt trotz ihrer Unhandlichkeit, d. h. trotzdem sie sich weder in den 30 tägigen Monat noch in das Jahr von 365 Tagen einfügen ließ.

§ 5. Neben dem Einflusse, den Religion und Astrologie auf die Entwickelung der Astronomie ausübten, ist noch die Schiffahrt als ein ebenso wichtiges und treibendes Motiv zu erwähnen, das zum Fortschritt der Astronomie beitrug. Neben der zeitlichen Orientierung, die die Astronomie ermöglichte durch

Beobachtung des regelmäßigen Verlaufs aller Himmelserscheinungen, zeigt uns die Schiffahrt eine neue praktische Verwertung astronomischer Kenntnisse, die der räumlichen Orientierung. So lange die Schiffahrt nur eine reine Küstenfahrt war, waren zwar astronomische Kenntnisse zur Orientierung am Meere nicht erforderlich. Sie wurden es erst dann, als die schiffahrenden Völker ihre Kolonien oder Handelsniederlassungen immer weiter ausdehnten und Fahrten unternahmen, ohne stets die Küste vor Augen zu haben. Der Steuermann, der da das Schiff lenkte, mußte den Pol, um den sich das ganze Himmelsgebäude drehte, die Sterne in ihrer gegenseitigen Stellung am Himmel, ihren Auf- und Untergangspunkt am Horizont genau kennen, um Nachts nach ihnen seine Maßnahmen zu treffen. In charakteristischer Weise heißt es so bei Homer:

Froh spannt die Segel Odysseus;
selbst noch setzt er darauf ans Ruder sich, ganz kunstmäßig
richtend die Fahrt und nie sank ihm Schlaf in die Augen,
weil nach dem Siebengestirne und, der später eintaucht, dem Bootes
und nach der Bärin er schaut, die sonst auch Wagen genannt wird,
welche sich dort umdreht und stets den Orion betrachtet,
aber allein niemals in Okeanos Bad hinabtaucht,
denn dies Zeichen gebot ihm, die herrliche Göttin Kalypso,
wann er das Meer durchschifft, allzeit links zu behalten.

Die leichtere Orientierung in der Nacht nach dem Sternenhimmel als bei Tag nach dem Laufe der Sonne, wozu eine äußerst genaue Kenntnis dieses Laufes und seiner Verschiedenheiten während eines Jahres erforderlich wäre, war wohl ein Hauptgrund, daß man mehr während der Nacht als tagsüber fuhr.

§ 6. Die Summe des astronomischen Wissens, das diesen ersten Epochen der menschlichen Kulturentwickelung angehört, läßt die folgende einfache geometrische Darstellung zu. In der nebenstehenden Figur stelle die krumme Linie $NWSO$ den kreisförmigen Horizont vor, d. h. die Größe und Ausdehnung des damals bekannten Teiles der Erdoberfläche, als des Schauplatzes der geschichtlichen Begebenheiten unter den Menschen, wegen der perspektivischen Anschauung nicht als Kreis, sondern als Ellipse

gezeichnet. Dieser bekannte Teil der Erdoberfläche umfaßte hauptsächlich die Küstenländer des Mittelländischen Meeres, dann Babylonien und Persien. Unbestimmt sind nur die Grenzen von Europa nach Norden, die Grenzen von Libyen im Süden, die von Asien im Osten, die vielleicht bis Indien reichen und nur nach Westen scheinen die Säulen des Herkules, die heutige Straße von Gibraltar, einen tatsächlichen Abschluß der damals bekannten Welt gebildet zu haben.

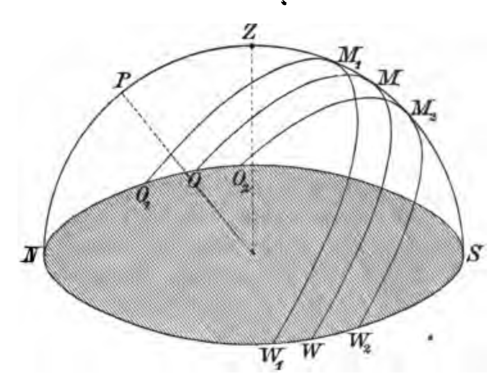


Fig. 1. Das Himmelsgewölbe und die scheinbare Sonnenbahn.

Der über der Ellipse *NWSO* konstruierte Halbkreis *NZS* bezeichne das Himmelsgewölbe als den Ort, an welchem sich die Himmelserscheinungen in strenger Gesetzmäßigkeit abspielen. Die schief gegen den Horizont gezogenen Kreisbogen *OMW*, $O_1 M_1 W_1$ usw. mögen die Bahn der Sonne in den einzelnen Tagen des Jahres andeuten, derart, daß die Punkte *O* die Aufgangs-, *W* die Untergangspunkte bedeuten und die Punkte *M* dem höchsten Stande der Sonne während des Tages, der Mittagsstunde, entsprechen. Der Kreisbogen *OMW* speziell ist die Bahn der Sonne am 21. März und 23. September, den beiden Tagen der Tag- und Nachtgleiche, welcher Bogen der der gleichen Tag- und Nachthälfte hieß und heute der Himmelsäquator genannt wird. Die beiden Kreisbogen $O_1 M_1 W_1$ und $O_2 M_2 W_2$ wiederum sind die beiden Wendekreise des Sommers und Winters, d. h. die Bahn der Sonne am 21. Juni und 24. Dezember. Der zwischen diesen Kreisbogen liegende Teil des Himmelsgewölbes ist die Furche des Himmels nach babylonischer, der Tierkreis oder Zodiakus nach griechischer Bezeichnungsweise. In ihm bewegen sich neben der Sonne in ihrem jährlichen Laufe der Mond in monatlichen und die einzelnen Planeten in sehr verschiedenen periodischen Umläufen, während das ganze Himmelsgewölbe, von

Sternen dicht besät, außerdem während eines Tages eine Umdrehung um die Erde auszuführen schien. Neben allen diesen Himmelskörpern hatte, wie manche alte Berichte erkennen lassen, eine aufmerksamere Beobachtung des Himmels die seltener auftretenden Erscheinungen der Meteore, Sternschnuppen und auch der Kometen gezeigt. Die Sternschnuppen werden auf den babylonischen Keilinschrifttafeln die plötzlich ausstrahlenden oder die mit einem Schweife versehenen und den Himmel erhellenden Sterne, die Kometen die Rabensterne genannt. Beide aber werden von den übrigen Sternen strenge unterschieden.

Was die Erde selbst anlangt, so dachte man sich, daß gewisse Teile derselben der Sonne näher liegen, wie auch die Figur dies zeigt, andere von ihr entfernter sind, und daß die Strahlen der Sonne in jenen eine viel stärkere Wirksamkeit besitzen als in diesen. Die Menschen, die jene Teile bewohnen, sind daher von schwarzer Hautfarbe. Selbst noch der vielgereiste griechische Geschichtschreiber Herodot huldigte dieser Ansicht. Wenn der Sonnengott, meint er, unmittelbar über dem Ostrande der Erdoberfläche emporsteigt, so muß in Indien, das im äußersten Osten liegt, die Morgensonne am glühendsten sein, während die fern im Westen weilende Abendsonne dieses Land nicht mehr zu erwärmen vermag. Anaxagoras, der berühmte Freund des Perikles, glaubte, daß der Himmel ursprünglich horizontal rotierte, so daß der Weltpol, P in der Figur, vertikal über dem Mittelpunkte der Erdoberfläche stand, und daß der Himmel sich gegen Süden senkte, nachdem bereits lebende Wesen entstanden waren, zu dem Zwecke, damit einige Teile der Erde bewohnbar, einige unbewohnbar werden, je nachdem sich ihr Klima durch diese Senkung heiß oder kalt oder gemäßigt gestaltete, d. h. zu dem Zwecke, damit die Welt die Vorzüge klimatischer Abwechselung genieße.

Genau der Zeichnung entsprechend, welche uns Fig. 1 gibt, waren auch die Vorstellungen, welche sich bei den Kulturvölkern des Altertums, den Babyloniern, Ägyptern und Griechen, im Anschlusse an die durch die aufmerksame Beobachtung der Vorgänge am Himmel erworbenen Kenntnisse zu entwickeln begannen, oder das auf Grund dieser Vorstellungen konstruierte Weltbild.

Die Welt ist eine gewölbte Halle, heißt es bei den Babyloniern, die feste Decke dieser Halle ist das Himmelsgewölbe.

Über ihr liegt das Regenwasser. Wird ein Gitter fortgezogen, so strömt der Regen nieder. Auf der Innenseite des Himmels sind die Sterne festgenagelt und unter ihnen bewegen sich die zwei großen Lichter, Sonne und Mond, mit den fünf kleineren Lichtern, den Planeten. Die Erde selbst ist eine Scheibe, jedoch nicht ganz flach, sondern in der Mitte ein wenig aufwärts gewölbt und unter dieser Wölbung ist eine dunkle Höhle, die Unterwelt, der Aufenthaltsort der Toten.

Unverkennbar ist die Ähnlichkeit dieses Weltbildes mit jenem, das uns bei den Juden aus den Schilderungen in der Bibel entgegentritt, besonders aus der Erzählung von der Schöpfung der Erde. Im Anfang erschuf Gott Himmel und Erde, so lauten hier die Anfangsworte; die Erde aber war unförmlich und wüste. Finsternis lag auf ihrer Oberfläche und nur der Geist Gottes schwebte über den Gewässern. Da sprach Gott „es werde Licht" und mit der Erschaffung des Lichtes war der erste Schöpfungstag vollbracht. Da sprach Gott: es wölbe sich das Firmament zwischen den Gewässern über der Erde und scheide sie in Gewässer oberhalb und solche unterhalb des Firmaments. Damit war der zweite Schöpfungstag vollendet. Am dritten befahl Gott, daß die Gewässer unterhalb des Firmaments in eine einzige Stelle zusammenfließen und das trockene Land zum Vorschein komme, auf dem dann die grünen Pflanzen und die fruchtbaren Bäume wachsen sollen. Am vierten Schöpfungstage ließ Gott am Firmament zwei große Lichter entstehen, zu dem Zwecke, damit sie Tag und Nacht voneinander unterscheiden und als Zeichen dienen, um die Tage, Monate und Jahre, wie auch die verschiedenen Jahreszeiten zu bestimmen. So entstanden die Sonne, als das erste große Licht, zu herrschen über den Tag, der Mond, das zweite große Licht, zur Herrschaft über die Nacht, und neben beiden auch noch die Sterne.

Recht eigenartig war das Weltbild der alten Ägypter. In den Zeiten, da sie noch keine weiten Heereszüge, keine großen Schiffsexpeditionen in die benachbarten Gebiete machten, war ihr Vaterland die ganze Welt für sie. Es endete im Süden bei Syene, im Norden am Mittelmeer, im Osten und Westen in den im Sonnenlichte weißschimmernden Bergketten der arabischen und libyschen Wüste. Mitten drinn lag ein schmaler Streifen Landes, der Länge nach halbiert durch den

heiligen Strom. Diesem engbegrenzten Erdbilde entsprach ein ganz analoges Bild des Himmels. Man stellte sich ihn vor als eine flache Decke, genau von der Größe und Gestalt der Erdoberfläche, ruhend auf den Randgebirgen und außerdem noch auf vier Pfeilern. Von ihm hingen wie Lampen die Sterne herunter, während die Sonne im Laufe des Tages mitten zwischen ihnen in einer Barke durchfuhr, abends zur Unterwelt hinabsank, um am nächsten Morgen neugeboren ihr Tagewerk zu beginnen, ein Tagewerk, das in einem immerwährenden Kampfe mit den Mächten der Finsternis bestand.

Interessanter und in seinem Aufbau auch bedeutsamer war das Weltbild der alten Griechen, namentlich wie es in den beiden großen Dichtungen Homers, der Ilias und der Odyssee, und in den beiden didaktischen Epen Hesiods, Werke und Tage und der Kosmogonie, geschildert wird. Der Himmel wird angesehen als eine ungeheure Halle mit einem Kristallgewölbe als Decke oben und dem dunklen Keller unten. Die Erde ist eine Scheibe, die an ihrem Rande das Kugelgewölbe berührt. Sie wird von einem großen tiefen Meere, dem Okeanos, umflossen aus dem alle Quellen, Bäche, Flüsse, Ströme und die anderen Meere ihr Wasser erhalten. Inmitten dieser Scheibe liegt Hellas und inmitten von Hellas der schneebedeckte Olymp, auf dem die Götter thronen. Fest und unbewegt steht der Himmel in seiner Lage und Sonne, Mond und Sterne ziehen an ihm hin, beim Aufgang aus dem Bade im Okeanos aufsteigend, dann ihre vorgeschriebene Bahn am Himmel durchwandelnd, beim Untergange wieder in die Fluten des Okeanos niedertauchend, um am nächsten Morgen reingewaschen und neugestärkt im Osten von neuem aufzugehen.

Allen diesen Weltanschauungen liegt, wie man sieht, eine gemeinschaftliche Idee zugrunde, die, daß die Erde als die Wohnstätte der Menschen eine flache Scheibe und daß der Himmel eine sich über ihr wölbende Kuppel ist. Es ist nicht schwer, die Quelle zu finden, der diese Idee entstammt. Es ist dies der bloße Augenschein, nach dem sich alle Erscheinungen am Himmel abspielen, und auch alle Täuschungen, die mit ihm verbunden sind.

In der Tat, wenn wir während eines sonnenklaren Tages oder einer sternhellen Nacht, die beengenden Mauern unserer Behausung verlassen und ins Freie treten, wenn dann unser

Blick unwillkürlich von dem kleinen Stück heimatlichen Bodens, den unser Auge umfaßt, sich zur blauen Kuppel des Himmels wendet, so ist der erste Eindruck, den wir empfangen, der, daß wir uns in einem ungeheuren Dome von azurblauer Farbe befinden, daß dieser Dom begrenzt ist von einem Horizont von mehreren Kilometern Länge und daß er erleuchtet wird von Sonne, Mond und Sternen, die erscheinen, entschwinden, dann von neuem wieder auftauchen, scheinbar einzig zu dem Zwecke, um den Menschen auf Erden die wohltuende Wärme und das strahlende Licht zu spenden. Keine Verschiedenheit in den Entfernungen der Himmelskörper von uns kommt uns dabei zum Bewußtsein, auch kein Anhaltspunkt ist gegeben, um eine dieser Entfernungen zu bestimmen. Indem die Erscheinungen sich so abspielen, erwecken sie in uns die Illusion, als ob wir uns im Mittelpunkt einer Halle befänden, deren feste Decke der Himmel ist und an der Sonne, Mond und Sterne stets in ihren vorgeschriebenen Bahnen dahinziehen, eine Illusion, die die Basis für die Weltanschauungen und kosmogonischen Gedanken aller Kulturvölker des Altertumes bildete.

II. Die Astronomie bei den Griechen.

§ 7. Der erste bedeutsame Schritt zur Entwickelung einer wissenschaftlichen Astronomie erfolgte, als man sich vom bloßen Augenschein und allen mit ihm verbundenen Täuschungen zu befreien suchte und sich zu einer Erklärung der alltäglichen Erscheinungen am Himmel erhob, die nicht mehr als eine rein anschauliche bezeichnet werden kann. Zwei Momente waren hierbei besonders maßgebend, 1. die fundamentale Erkenntnis, daß das Himmelsgewölbe keine Halb-, sondern eine Vollkugel sei, oder daß es statt einer gewölbten Decke über der Erde auch eine solche unter ihr gebe, die nur stets unsichtbar bleibe, und 2. die Frage, wie denn die scheibenförmige Erde mit der vollen Himmelskugel zusammenhänge.

Die erste Erkenntnis wurde gewonnen durch die Beantwortung der Frage, wo denn die Sonne während der Nacht bleibe, wenn sie jeden Abend im Westen niedersinke und welches Verhältnis zwischen ihr und der Sonne bestehe, die jeden Morgen im Osten wieder aufsteige. Die erste Antwort auf diese Frage dürften schon die Babylonier gegeben haben. Die Kenntnis des Tierkreises mit seinen 12 Bildern, wie die Einteilung des Himmels in 28 Mondstationen, die bei ihnen sehr alten Datums sind, setzt die Existenz einer ganzen Himmelskugel voraus, indem sie sagt, daß während eines Jahres die Sonne die 12 Tierkreisbilder, wie der Mond während eines Monats die 28 Mondhäuser durchlaufe, bis beide wieder zu demselben Sterne am Himmel zurückkehren. Bei den Griechen scheinen es Thales und Anaximander, die Begründer der jonischen Naturphilosophie, gewesen zu sein, denen der revolutionäre Gedanke zugeschrieben werden muß, daß das sichtbare Himmelsgewölbe zu einer Vollkugel zu ergänzen sei. Die Frage, ob Thales oder ob Anaximander der eigentliche Urheber dieser Idee war, ist dabei von geringerer Bedeutung.

Was die zweite Frage nach dem Zusammenhange der als Scheibe angenommenen Erde mit der vollen Himmelskugel anlangt, so weichen in ihrer Beantwortung Thales und Anaximander von einander ab. Nach der Ansicht des Thales befindet sich die scheibenförmige Erde im Mittelpunkte der Himmelskugel, schwimmt auf dem Ozean und dieser berührt das Himmelsgewölbe in seinen äußersten Teilen. Durch Bewegung des Wassers entstehen die Erdbeben. Erst Anaximander schlug auch hier eine neue Bahn ein. Indem er die Dimensionen des Himmels vergrößert, die der Erdscheibe verkleinert, gelangte er zu der ganz neuen durch ihre Großartigkeit imponierenden Vorstellung von einer im Weltenraume frei schwebenden Erde, die, da sie von jedem Punkte der Himmelskugel gleich weit entfernt ist, weder nach oben noch nach unten, weder nach rechts noch nach links fallen könne und daher im Mittelpunkte im Gleichgewichte sei. Daß Anaximander hierbei noch an der alten Anschauung festhält, daß die Erde eine Scheibe, oder vielmehr, wie er annimmt, ein Zylinder sei, auf dessen oberen Basis die Menschen leben, ist von geringerer Bedeutung. Jedenfalls ist der Fortschritt in der wissenschaftlichen Astronomie, der sich neben Thales an dessen Schüler Anaximander knüpft, ein sehr bedeutender. Das Weltbild, zu dem beide gelangten, sei es durch eigenes Nachdenken und eigenen Scharfsinn oder durch in Babylonien oder Ägypten gesammelte Kenntnisse, besteht im wesentlichen in folgendem: Eine freischwebende Erde, von der Form eines Zylinders, umgeben von einer Lufthülle und ruhend im Mittelpunkte einer Himmelskugel von fast unendlichen Dimensionen.

An den Namen Anaximanders knüpft sich noch ein anderer wesentlicher Fortschritt, nicht gerade in der Astronomie selbst, sondern in einer anderen Wissenschaft, welche aber mit der Astronomie eng verwandt ist, nämlich in der astronomischen Geographie und zwar in der Lehre der Abbildung der Erde auf eine Karte. Herodot und andere Geschichtschreiber mit ihm erzählen, daß Anaximander der erste gewesen sein soll, der eine Erdkarte entwarf, auf welcher die Gestalt der Erde, das Festland, das Meer und alle Flüsse eingegraben waren. Speziell Herodot erzählt, daß Aristagoras, der Tyrann von Milet, im Besitze einer solchen Karte war und sie seinen Mitbürgern in Sparta vorwies, um ihnen das Größenverhältnis von Hellas

gegenüber dem Perserreich des Darius klar zu machen. Was die Darstellung der Erde auf dieser Karte anlangt, so lassen sich nach den spärlichen darüber vorhandenen Berichten von Herodot und Aristoteles nur Vermutungen aussprechen. Der bewohnte Teil der Erde, die Ökumene, war auf ihr kreisrund abgebildet, umschlossen zunächst vom Okeanos, dem äußeren Meer und außerdem auch noch von einem erhabenen Rande, dem Ende des festen Erdkörpers. Das innere, jetzt Mittelländische Meer durchsetzte von den Säulen des Herkules an, (jetzt Straße von Gibraltar) als dem westlichsten Endpunkte die ganze Ökumene bis nach Osten zum äußeren Meere zurück und teilte diese in zwei Hauptteile, einen nördlichen und südlichen, die beide geometrisch als Halbkreise aufgefaßt wurden. Sagenhaft waren die Grenzen dieser Teile nach Norden und Süden. Nach Norden galten als solche die Zinninseln im nordwestlichen Okean und ein Bernsteinfluß, der in diesen mündete, nach Süden die Wüste von Libyen. Hinter dem Hellespont und dem Bosporus wurde das innere Meer fortgesetzt zum Pontus (dem schwarzen Meer), der im Nordosten mit der Mäotis (dem Asowschen Meer) in Verbindung stand. Diese stellte man sich viel zu groß vor und brachte sie in Verbindung mit dem Kaspischen See, den man als einen Busen des östlichen Teiles des äußeren Okeans ansah.

Die Leistungen der jonischen Philosophenschule namentlich ihrer Begründer, Thales und Anaximander, sind demnach ziemlich bedeutende. Es wurde von ihnen über die bloße Anschauung hinaus die sichtbare Himmelskuppel zu einer Vollkugel ergänzt. Es schwand ebenso die kindliche Vorstellung von der Begrenzung der Erde durch den Himmel. Sie konstruierten, was besonders für sie charakteristisch ist, die erste Erdkarte. Sie kannten ferner den Gnomon, den schattenwerfenden Stab und verstanden aus der Länge des Schattens im Verhältnisse zur Größe des Stabes die Höhe der Sonne über dem Horizonte und damit den täglichen und jährlichen Unterschied im Sonnenstande zu bestimmen. Aber der wechselnde Stand der Sonne mit dem Wechsel des Horizontes in den verschiedenen geographischen Breiten blieb ihnen unbekannt; daher rührt ihr Festhalten an der Ansicht, daß die Erde eine Scheibe ist, daß alle Erdbewohner einerlei Horizont haben, einerlei Beleuchtung und Erwärmung durch die Sonne genießen,

und über der ganzen Erde einerlei Tages- und Nachtlängen bestehen.

§ 8. Der nächste und wieder bedeutende Fortschritt der Astronomie knüpft sich an die Lehre von der Kugelgestalt der Erde. Die Ehre, diesen Fortschritt bedingt zu haben, gebührt der Philosophenschule des Pythagoras.

Die Ansicht von der Kugelgestalt der Erde beruht ebenso wie die von der Vollkugel des Himmelsgewölbes nicht mehr auf der bloßen Anschauung, sondern sie muß erst aus einer Reihe von Beobachtungen erschlossen werden. Welcher Art diese Erkenntnisse waren, die Pythagoras zu dieser Ansicht führten, läßt sich nicht mehr entscheiden. Pythagoras soll, wie die einen sagen, diese Lehre aus dem Oriente erhalten haben, doch liegt ein stichhaltiges Zeugnis dafür, daß bei den Babyloniern. oder auch den Ägyptern diese Lehre bekannt war, nicht vor. Andere wieder behaupten, daß die Pythagoräer von der jonischen Vorstellung der Himmelskugel ausgingen, von den Kreisen, die Sonne, Mond und Sterne auf ihr beschreiben und endlich von den sichtbaren Kugelgestalten der Sonne und des Mondes und dann den Analogieschluß zogen, daß auch die im Mittelpunkte des Alls ruhende Erde eine Kugel sein müßte. „Es waren," wie Peschel in seiner Geschichte der Erdkunde sagt, „mehr geometrische Schicklichkeitsgründe als mathematische Überlegungen, welche sie zu diesem kühnen Gedankenfluge anregten." Tatsache ist, daß seitdem die Lehre von der Kugelgestalt der Erde in der wissenschaftlichen Welt die dominierende wurde. An ihrer Wahrheit zweifelte fast niemand mehr, namentlich seit den für sie von Aristoteles gegebenen mathematischen Beweisen.

Diese sind fast identisch mit denen, die sich in den neueren geographischen Lehrbüchern für Mittelschulen vorfinden. Der erste Beweis knüpft an die Veränderungen des Horizontes an, die eintreten, wenn der Beobachter seinen Standpunkt auf der Erde wechselt. Was die Erscheinungen anlangt, die hierbei die Sterne bieten, so lassen sich da drei gesonderte Wahrnehmungen anführen: 1. der Wechsel der Sterne, die im Zenit eines Beobachtungsortes stehen. Andere Länder, andere Zenitsterne, 2. die Beobachtung, daß in südlichen Ländern neue Sterne auftauchen, die man in nördlicheren nicht sieht und 3. die Tatsache, daß Sterne in den nördlicheren Ländern nicht untergehen, oder wie es bei Homer heißt, nie im Okeanos

baden, die in südlicheren doch untergehen. Ähnliche Erscheinungen muß auch die Sonne zeigen, entsprechend der Verschiedenheit ihres Standes an verschiedenen Tagen des Jahres und an verschiedenen Orten der Erde. Pytheas, ein reicher Kaufmann in Massilia, soll, wie erzählt wird, einzig und allein zu dem Zwecke, um diese Änderungen mit eigenen Augen kennen zu lernen und zu studieren, eine große Expedition ausgerüstet haben und mit ihr nach dem Norden Europas gefahren sein. Man kann ihn für den ersten Nordpolfahrer erklären. Seine Schilderungen von den Wundern dieser nördlichen Länder, von der Schlafstätte der Sonne, über die hinaus die immerwährenden Nächte eintreten, von dem eigentümlichen Zustande, in dem sich dort Erde, Meer und Luft befinden, daß sie nicht allein für sich existieren, sondern nur ein Gemisch aus ihnen, das ein weiteres Vordringen oft unmöglich mache, fanden im Altertum wenig Glauben. Erst durch die Kritik der Neuzeit wurde ihm zu seinem Rechte verholfen, wiewohl es nicht gelungen ist, alle in den vorhandenen Bruchstücken seines Reisewerkes erzählten phantastischen Beobachtungen zu erklären, und die Wege, die er verfolgte, und die Orte, die er erreichte, sicher nachzuweisen.

Als zweiten Beweis für die Kugelgestalt der Erde führt Aristoteles an die Erscheinung des Erdschattens bei Mondfinsternissen, als dritten den Zug aller schweren Körper nach dem Mittelpunkte, aus dem das Zusammenballen der Erde zu einer Kugel mit Notwendigkeit folge. Der bekannte Beweis, der aus der Bebachtung folgt, daß beim Herannahen entfernterer Gegenstände zuerst die oberen Teile sichtbar werden und umgekehrt beim Entfernen zuerst die unteren Teile dem Blicke entschwinden, findet sich beim Geographen Strabo und dürfte dem Eratosthenes zuzuschreiben sein. Der Beweis endlich, der aus dem Zeitunterschiede folgt beim Eintritt von Verfinsterungen von Mond oder Sonne für zwei Punkte der Erde, die gleiche geographische Breite haben, findet sich bei Hipparch, der diesen Zeitunterschied direkt zu Bestimmungen der geographischen Länge oder des Längenunterschiedes dieser zwei Punkte verwertet wissen will.

Alle diese Überlegungen regten Aristoteles zu dem Gedanken an, daß Indien, wie wohl es das östlichst gelegene Land der Erde sei, doch in der Nähe der Säulen des Herkules

liegen müsse. Demgegenüber meinte Strabo, daß dies nicht gerade notwendig sei, vielmehr können in dem Parallelkreise, der durch die Säulen, die Insel Rhodus und Indien gehe, zwischen den Küsten des westlichen Europas und des östlichen Asiens noch unbekannte und vielleicht gar bewohnte Ländermassen liegen. Seneca endlich stellt in seinen Quaestiones naturales die Frage: Wie weit mag es eigentlich sein, von der äußersten Küste Spaniens bis nach Indien? Vielleicht nur eine Fahrt von der Dauer von sehr wenigen Tagen, wenn ein günstiger Wind die Segel des Schiffes bläht. Aus all dem kommen wir zu dem Ergebnis, daß die Griechen eine ganz klare Vorstellung über die Bedeutung der Lehre von der Kugelgestalt der Erde hatten und daß es schon damals nur der Kühnheit eines Mannes bedurft hätte, wie sie 1800 Jahre später Kolumbus besaß, um die gefährliche Fahrt von den Säulen des Herkules aus nach dem unbekannten Westen zu dem östlichsten Teile der Erde nach Indien zu unternehmen.

Mit der Lehre von der Kugelgestalt der Erde steht in Verbindung die von der Teilung der Erde in fünf Zonen, die dem Parmenides zugeschrieben wird, doch wohl auch schon den Pythagoräern bekannt gewesen sein dürfte. Ihre Entstehung verdankt sie der Anschauung, daß Himmel und Erde als zwei konzentrische Kugeln anzusehen seien, die durch vom Mittelpunkte der Erde ausgehende Linien so einander zugeordnet werden können, daß jedem Punkte der Erde ein Punkt des Himmels und umgekehrt jedem Punkte des Himmels ein solcher der Erde und ebenso auch jeder Linie am Himmel eine auf der Erde zugehöre. Diese fünf Zonen waren die arktische Zone, die Sommerzone, die Zone der Tag- und Nachtgleichen, die Winterzone und die antarktische Zone. Die entsprechenden Zonen am Himmel waren der Teil des Himmels vom Nordpol zu dem Polarkreis, der Gürtel zwischen dem nördlichen Polarkreis und dem Kreis der Sommersonnenwende, der Gürtel zwischen den beiden Wendekreisen, dann zwischen dem Winterwendekreis und dem südlichen Polarkreis und der Teil des Himmels zwischen diesem und dem Südpol. Die mittlere Zone der Tag- und Nachtgleichen wurde auch die verbrannte Zone genannt und galt ebenso wie die beiden arktischen Zonen als unbewohnt und nur die Sommer- und Winterzone, als klimatisch gemäßigte, dachte man sich bewohnt. Doch soll Pythagoras andererseits auch die Ansicht aus-

gesprochen haben, daß alle Teile der Erde bewohnt seien und daß es daher auf der Erde Gegenfüßler gebe, für die die Begriffe oben und unten sich umkehren.

Die Zusammengehörigkeit von Punkten des Himmels und Punkten der Erde führte in derselben Zeit zur Lösung eines Problems, das zwar sehr einfach ist, aber den Uneingeweihten stets das größte Staunen abnötigt, nämlich das der Bestimmung des Umfangs oder der Größe der Erde. Die Lösung beruht auf dem einfachen Gedanken, daß zwischen zwei Standpunkten der Erde und ihren Scheitelpunkten am Himmel entsprechende Bogen liegen, aus denen man ihr Verhältnis zum vollen Kreise, d. i. zum Umfange der Erde bestimmen könne.

Der Erste der uns bei der Lösung dieses alten Problems begegnet, ist der Mathematiker Archytas von Tarent, ein Freund Platos. Wenigstens besingt ihn Horaz in einer seiner Oden als einen, der sich an dieses Problem herangewagt habe. Kleomedes, der Mathematiker, deutet auch die Methode der Lösung dieses Problems in folgender klaren Weise an: Denen, die in Lysimachia wohnen, steht der Kopf des Drachen im Scheitelpunkte, in Syene aber steht der Krebs im Zenit. Der Raum zwischen dem Drachen und dem Krebs ist der 15. Teil des Meridiankreises zwischen Lysimachia und Syene und, da diese 20000 Stadien voneinander entfernt sind, so enthält der ganze Kreis 300000 Stadien. Dieselbe Zahl von 300 000 Stadien gibt Archimedes als Umfang der Erde an, Aristoteles dagegen 400000 Stadien. Nimmt man nun ein Stadium zu 185 m an, so folgt nach Aristoteles 74000 km, nach Archimedes 55500 km für die Größe der Erde, Zahlen, die von derselben Größenordnung sind wie die richtige Zahl 40000 km.

§ 9. Neben der Erfassung der richtigen Gestalt der Erde, worauf nur wenige Jahre später schon die ungefähre Bestimmung ihrer Größe folgte, verdankt die Astronomie den Pythagoräern noch einen weiteren wesentlichen Fortschritt, eine intensivere Beschäftigung mit den Planeten und damit in Verbindung die Konstruktion eines Weltbildes, in dem auch diese den ihnen gebührenden Platz einnahmen. Was den Ursprung der Kenntnisse der Planeten bei den Griechen anlangt, so muß als feststehend angesehen werden, daß um das Jahr 600 v. Chr. zur Zeit Thales' bei ihnen noch keine Spur einer solchen Kenntnis vorhanden war, daß aber um das Jahr 400 v. Chr. zur Zeit Sokrates'

und Platos die Zahl der Planeten, ihre Umlaufzeiten, ihre vielfach verschlungenen Bahnen am Himmel, die Perioden ihrer Stillstände und ihre rückschrittlichen Bewegungen überraschend genau bekannt waren. Fast plötzlich innerhalb des so kurzen Zeitraumes von 200 Jahren sehen wir die Griechen in den Besitz aller dieser Erfahrungstatsachen gelangen und, da es unmöglich ist, daß sie sie während dieser so kurzen Zeit durch eigenen Fleiß und eigene Tätigkeit gesammelt haben können, so dürfte auch hier nur an die Babylonier oder Ägypter zu denken sein, von denen sie die Griechen übernommen haben. Auf welchem Wege dies geschah, läßt sich nicht mehr feststellen. Aber während die ersteren sich bei aller ihrer aufmerksamen Betrachtung des Sternenhimmels mit der bloßen Bestimmung der Perioden der Planetenbewegungen begnügten, erhoben erst die Griechen die empfangenen Schätze in wissenschaftlicher Weise zu einer höheren Stufe der Ausbildung. Sie machten das Problem der Bewegung der Planeten zum Hauptproblem der Astronomie und gaben damit den Menschen ein Rätsel auf, dessen Lösung erst 2000 Jahre nach Pythagoras dem Dreigestirn am astronomischen Himmel, Koppernikus, Keppler und Newton gelang.

Im einzelnen wird angegeben, daß Thales die Planeten noch nicht gekannt habe, wohl aber Anaximander, der ihnen jedoch geringe Beachtung schenkte. Erst Pythagoras und seine Schüler würdigten sie als besondere Himmelskörper und versuchten durch eigene Beobachtungen die Kenntnisse über ihre eigentümlichen Bewegungen zu vervollständigen und zu erweitern, bis sich endlich alle die erworbenen Kenntnisse zu einer einzigen sie alle umfassenden Idee verdichteten, der Idee vom Kosmos.

Dieser Ausdruck bedeutet zunächst Schmuck und Zier, wurde von Pythagoras aber gebraucht um die Einheit des Weltganzen, die Ordnung im Weltall und die Harmonie aller da vorkommenden Bewegungen zu kennzeichnen. In der Aufstellung dieses Begriffes liegt das Neue, Anregende, Begeisternde der pythagoräischen oder griechischen Astronomie, wodurch sich diese von der babylonischen Astronomie fast in demselben Grade unterscheidet, wie das griechische Kunstideal von dem babylonischen.

Das System des Pythagoras oder der älteren pythagoräischen Schule bestand in den folgenden zwei Annahmen, 1. in der Annahme einer im Mittelpunkte des Weltalls ruhenden Erdkugel und 2. einer sie umhüllenden Hohlkugel, die sich in gleich-

förmiger Geschwindigkeit innerhalb 24 Stunden um eine feste Axe um die erstere drehe und hierdurch die tägliche Bewegung der Gestirne am Himmel, ihren Auf- und Untergang, sowie ihren höchsten Stand oder ihre Kulmination bewirke. Dies waren die einfachsten zwei Grundannahmen und ihre Einfachheit steht auch mit den Beobachtungstatsachen in bestem Einklang. Sie zeigen, daß die Sterne in der Tat, wie mit unsichtbaren Ketten am Himmel befestigt sind und stets in gleicher Entfernung voneinander wie von der Erde ihre täglichen Kreise am Himmel beschreiben. Nun kamen Sonne, Mond und die fünf anderen Planeten dazu mit ihren eigentümlichen Bewegungen und eine Vervollständigung dieses einfachen Bildes erschien damit notwendig. Alle diese Sterne zeigen zunächst die gleiche tägliche Bewegung von Ost nach West wie die Fixsterne. Zu ihrer Erklärung genügt die Annahme, das sie an der täglichen Umdrehung der Fixsternsphäre mitteilnehmen. Außerdem zeigen sie aber noch andere Bewegungen, die der ersteren entgegengesetzt gerichtet sind, d. h. von West nach Osten verlaufen, sich in einer Verschiebung gegen die Fixsterne kundgeben und bei den verschiedenen Planeten verschiedene Dauer haben, beim Monde einen Monat, bei der Sonne ein Jahr, bei den Planeten entsprechend ihren Umlaufzeiten. Und um diese Bewegungen zu erklären, wurden neue Sphären, sieben an der Zahl, jede als Trägerin eines Wandelsternes angenommen. Die Sphären lagen konzentrisch ineinander geschachtelt, und drehten sich mit verschiedenen Geschwindigkeiten um eine gemeinschaftliche Achse, die nicht mit der Weltachse, d. i. der Drehungsachse der Fixsternsphäre zusammenfiel.

Es bestand demnach das pythagoräische Weltbild in der Annahme von 8 Sphären, die konzentrisch die im Mittelpunkte ruhende Erde umgaben. Die erste, der Erde nächste Sphäre war die Trägerin des Mondes. Sie vollführte eine Drehung um die Erde in 27 Tagen. Dann kam die Sphäre des Merkur mit einer Umdrehungszeit von 88 Tagen. Als dritte erschien die Sphäre der Venus mit einer Rotationsdauer von 225, als vierte die der Sonne mit 365, als fünfte die des Mars mit 687 Tagen, als sechste die des Jupiter mit 4333 Tagen und als siebente die des Saturn mit 10759 Tagen. Alle diese Sphären umhüllte als achte, die äußerste Sphäre, die der Fixsterne. Diese vollführte ihre Drehung um die Erde

in 24 Stunden, wobei sie die sieben eingeschlossenen mit sich riß.

Doch die rege griechische Phantasie gab sich mit diesem einfachen, nüchternen Weltbilde nicht zufrieden. Sie schmückte es soviel als möglich aus. Die Sphären, die natürlich durchsichtig waren, nahm man als aus reinstem Kristallglas bestehend an, ihre Drehungsachsen aus Diamant und schließlich glaubte man, daß beim Umschwung der Kugeln, gleich wie beim Fortschnellen eines Pfeiles aus der Sehne des gespannten Bogens, eine Musik entstehe, die berühmte Harmonie der Sphären, die zu hören kein Mensch von den Göttern für würdig erachtet wurde außer dem größten Meister unter ihnen, Pythagoras. Dieser Sphärenmusik entsprechend nahm man auch den Abstand der Sphären von einander und von der Erde nach einfachen Zahlenverhältnissen an, sowie die musikalischen Töne einer gespannten Saite einfachen Zahlenverhältnissen entsprechen; eine Zahlensymbolik, die, wie schon Aristotes sagt, die Grundlage der ganzen pythagoräischen Philosophie war.

§ 10. Dieses, abgesehen von der poetischen Ausschmückung, im ganzen einfache und auch den tatsächlichen Bewegungserscheinungen der Himmelskörper mit einiger Genauigkeit entsprechende Weltbild bildete die Grundlage für alle folgenden astronomischen Bestrebungen und Untersuchungen der Griechen. Eine erste Weiterentwickelung erfuhr es durch Philolaos, den bedeutendsten unter den Philosophen der pythagoräischen Schule und, was seine Lebenszeit anlangt, einen älteren Zeitgenossen des Sokrates. Leider ist das wahre Wesen der Weltanschauung des Philolaos nicht vollständig bekannt und dürfte wohl für immer ein Geheimnis bleiben. Denn von den Werken dieses Mannes sind nur ganz kurze Fragmente erhalten, welche seine Ansichten nicht ganz genau wiedergeben, da sie überdies noch in einer dunklen, unverständlichen Sprache geschrieben sind. In seinen Hauptzügen ist das philolaische Weltsystem das folgende: Die Mitte des Weltalls nimmt das Zentralfeuer ein, als Schwerpunkt und Halt des Ganzen. Zehn Weltkörper umwandeln es in harmonisch geordneten Kreisen. Als erste und äußerste die unwandelbare Fixsternsphäre, dann die 7 Wandelsterne, Saturn, Jupiter, Mars, Sonne, Venus, Merkur und Mond und endlich als neunte und zehnte die Erde und ein ihr ähnlicher Körper, die Gegenerde. Beide drehen sich, nicht etwa um ihre Achsen,

sondern umeinander in einem Kreise, so daß das Zentralfeuer stets in der Mitte zwischen ihnen steht. Die Menschen wohnen nur auf der vom Zentralfeuer abgewendeten Seite der Erde und sehen daher weder dieses noch die Gegenerde. Die Sonne ist dazu bestimmt, die Wellen des reinen Feuers, die vom Zentralfeuer ausstrahlen, in sich aufzunehmen und sie als Licht und Wärme den Erdbewohnern zuzuführen. Daher ihre Stellung in der Mitte zwischen den sieben Planeten. Ist die bewohnte Hälfte der Erde und die Sonne auf derselben Seite des Zentralfeuers, dann haben die Menschen Tag, im entgegengesetzten Falle Nacht. Jenseits der Fixsternsphäre umgibt feurige Lohe das ganze Universum und trennt die Welt von den Abgründen des Chaos und des Nichts.

Unklar ist in diesem System die Bedeutung der Gegenerde und ihr Verhältnis zur bewohnten Erde und Aristoteles äußert sich über sie direkt in dem Sinne, daß Philolaos und die Pythagoräer sie nur zu dem Zwecke erdacht haben, um der mystischen Zahlensymbolik des Pythagoras, der weltordnenden Gewalt der Zahlen zu genügen. Nach dieser ist nämlich die Zahl 10 die heiligste und vollkommenste aller Zahlen und müßte daher auch die Zahl der Himmelskörper 10 sein: 9 der wirklich vorhandenen, Erde, Mond, Merkur, Venus, Sonne, Mars, Jupiter, Saturn und die Sphäre der Fixsterne und als 10. die erdichtete Gegenerde. Andererseits liegt jedoch in der Vorstellung, daß die Erde nicht im Mittelpunkte des Weltalls ruhe, sondern sich mit der Gegenerde um das Zentralfeuer drehe und daß durch diese Drehung der Wechsel von Tag und Nacht entstehe, der erste Keim einer Weiterentwickelung, welcher in der Folge zur Annahme einer wirklichen Rotation der Erde um ihre Achse, d. i. mindestens zur halben Lehre des Koppernikus, ja später sogar zur vollen heliozentrischen Lehre führte. Welche Überlegungen hierbei maßgebend gewesen sein dürften, darüber lassen sich heute nur Vermutungen aussprechen, am wahrscheinlichsten war es die folgende: Die 7 Wandelsterne zeigten, von der Erde aus gezählt, eine immer größer werdende Umlaufzeit ihrer Sphären, der Mond eine solche von 27 Tagen, Merkur von 88 usw. bis zum Saturn, dessen Sphäre eine Umlaufzeit von 10759 Tagen hat. Nun sollte die alle diese umhüllende Fixsternsphäre als entfernteste von der Erde ihre Umdrehung um sie in 24 Stunden vollführen. Diese

Tatsache ging den Pythagoräern wider die von ihnen angenommene Ordnung und Harmonie in den Bewegungen der Sphären. Sie hielten sie für wenig wahrscheinlich und so suchten sie, die auftretende Schwierigkeit auf dem Wege zu umgehen, daß sie eine 24stündige Drehung der Erde annahmen. Dadurch erschien eine solche der Fixsternsphäre entweder ganz unnötig oder, um die Harmonie nicht wieder durch eine vollständige Unbeweglichkeit derselben zu stören, brauchte ihr nur eine so langsame Drehung um die Erde zugeschrieben zu werden, die erst nach Jahrtausenden sich bemerkbar mache. Damit wurde, ganz so wie in der koppernikanischen Lehre, die tägliche Bewegung aller Himmelskörper, die in dem alten System durch die Drehung der Fixsternsphäre erfolgte, als eine scheinbare erklärt und durch eine 24stündige Bewegung der Erde von West nach Ost ersetzt.

Wie diese Bewegung der Erde angenommen wurde, ob als eine Drehung von Erde und Gegenerde um ein hypothetisches Zentralfeuer, oder als direkte Rotation um die Weltachse, ist mehr oder weniger gleichgültig. Der Gedanke, daß eine solche Bewegung die der Fixsternsphäre ersetzen könne, oder der, daß es am Himmel auch scheinbare Bewegungen gebe, war einmal da, als erster Anstoß, und spätere Astronomen ließen wohl zunächst das Phantastische im philolaischen System fallen und gelangten zu der einfacheren Vorstellung von der Drehung der Erde um ihre Achse und damit zur ersten Hälfte der koppernikanischen Lehre. Sie verfolgten späterhin den Gedanken, daß scheinbare Bewegungen am Himmel möglich seien, noch weiter und kamen so bald zu der Ansicht, daß auch die jährliche Bewegung der Sonne vielleicht nur eine scheinbare sein dürfte und in Wirklichkeit die Erde und mit ihr die Planeten sich um sie als Zentrum bewegen, d. h. zur zweiten Hälfte der Lehre des Koppernikus.

Die Namen und die zeitliche Reihenfolge der Astronomen, bei denen sich nach und nach diese Umwandlung des philolaischen Systems in das koppernikanische vollzog, sind wohl bekannt, aber von ihren Schriften haben sich nur äußerst geringe Bruchstücke erhalten. Ebenso geben nur einige wenige Zitate und Bemerkungen bei Aristoteles, Archimedes, Cicero, Plutarch, Seneca und anderen spärlichen Bericht über sie. Wir sind daher nicht in der Lage, bis ins einzelne Detail den Gedankengang zu

verfolgen, welcher diese Männer von dem phantastischen System des Philalaos aus zu der strengen Lösung des astronomischen Hauptproblems geführt hat, jener, mit der 2000 Jahre später erst die Wiedergeburt der Astronomie durch Koppernikus eingeleitet wurde. Daß Koppernikus viele dieser Männer gekannt hat, ist erwiesen. Er erwähnt selbst in seinem Hauptwerke „De revolutionibus orbium coelestium“ die Stellen, in denen von ihnen in den klassischen Werken des Altertums gesprochen wird.

Diese Männer waren:

1. Hiketas von Syrakus, ein Zeitgenosse und vielleicht Schüler des Philolaos.

2. Ekphantus, ein Zeitgenosse Platos; beide lehrten bloß die Drehung der Erde um ihre Achse, durch die der Wechsel von Tag und Nacht entstehe, d. h. die tägliche Bewegung der Sonne und aller Sterne, ihr Auf- und Untergang als eine scheinbare erklärt werde und demnach die 24stündige Bewegung der Fixsternsphäre entfalle.

3. Herakleides Pontikus, ein Schüler Platos, der ein System aufstellte, das später fälschlich das ägyptische genannt wurde und teilweise 2000 Jahre später in dem System Tycho Brahes seine Wiedergeburt feierte. Es besteht in der Annahme, daß die Erde um ihre Achse rotiere, wodurch der Wechsel von Tag und Nacht entstehe, ferner, daß sich bloß Sonne und Mond um die Erde bewegen, während die anderen fünf Planeten ihre Bewegungen um die Sonne ausführen. Das System bildet so eine Art Übergang vom geozentrischen System zum reinen heliozentrischen.

4. Aristarch von Samos, der von 310 bis 250 v. Chr. lebte und direkt die Hypothese aufstellte, daß die Sonne im Mittelpunkte des Weltalls stehe, und die Erde, begleitet vom Monde, sowie die fünf Planeten sich um sie bewegen — ganz genau so, wie es im Jahre 1543 n. Chr. Geb. Koppernikus lehrte.

5. Seleukus von Seleucia, der um das Jahr 150 nach Chr. Geb. lebte und als Verteidiger des aristarchschen Systems auftritt, indem er positive Beweise für die von diesem angenommene Bewegung der Erde um die Sonne zu erbringen sucht.

§ 11. Im Altertum waren jedoch alle diese Versuche nur Abweichungen vom Hauptweg, den die Astronomie ging, und

konnten sich keine allgemeine Geltung verschaffen. Dieser Hauptweg aber war gegeben durch den Standpunkt, daß die Erde im Mittelpunkte des Universums ruhe. Aristoteles hatte ihn als den einzig richtigen erklärt und sich gegen die Pythagoräer und die von ihnen ausgehende Hypothese einer bewegten Erde, die nicht einmal im Mittelpunkte der Erde stehen sollte, ausgesprochen. Er sagt in dieser Richtung, daß die Pythagoräer die Gründe und Ursachen nicht aus den beobachteten Erscheinungen selbst ableiten, sondern es versuchen, umgekehrt diese mit ihren eigenen Ansichten und Voraussetzungen in Einklang zu bringen und so gewissermaßen selbst in die Weltordnung eingreifen wollen.

Das Ansehen und die Autorität des Aristoteles war schon im Altertum so groß, daß alle Bestrebungen, die heliozentrische Lehre gegen die aristotelisch-geozentrische umzutauschen, gegen sie nicht aufkommen konnten. Kaum entstanden, ging die heliozentrische Lehre sofort wieder verloren. Immerhin ist es merkwürdig und vom kulturhistorischen Standpunkte aus äußerst interessant zu hören, wie diese Lehre, 2000 Jahre später, im Jahre 1543 n. Chr. Geb. von Koppernikus von neuem aufgenommen, den gleichen Kampf nochmals durchkämpfen mußte, einen Kampf, der ebenso sehr gegen die Dogmen der christlichen Kirche, als gegen die unangreifbare und unerschütterliche Autorität gerichtet war, die Aristoteles selbst da noch genoß.

Die Stellung Platos, dessen Ansehen im Altertume fast ebenso groß war als das des Aristoteles, in diesem Widerstreite der beiden Weltanschauungen war eine zweideutige. Anfangs war er ein Anhänger der geozentrischen Lehre. Die Erde als Kugel, schreibt er in der „Republik“, ruht in der Mitte des gleichfalls kugelförmigen Weltalls. An seiner äußersten Peripherie ist die Fixsternsphäre, die sich im täglichen Umschwunge um eine diamantene Achse von Ost nach West dreht und dabei auch 7 andere Sphären mit sich reißt, auf denen Sonne, Mond und die fünf Planeten ruhen. Im „Timaios“, dagegen, in welchem er seine kosmogonischen Ideen entwickelt, gebraucht er in betreff der Drehung der Erde um die durch das All gehende Achse einen Ausdruck zweideutigen Sinnes. Dieser kann ebenso sehr dahin gedeutet werden, daß sich die Erde dieser Achse fest anschmiegt, d. h. daß die Erde ruht und sich bloß die Achse in ihr drehe und das wäre der geozentrische Standpunkt, oder daß sich die ganze Erde um die Achse drehe und das wäre,

weil damit die tägliche Bewegung der Fixsternsphäre entfällt, der philolaische Standpunkt. Welche Bedeutung Plato selbst diesem Ausdrucke beigelegt wissen wollte, wird sich wohl kaum mehr mit absoluter Gewißheit feststellen lassen. Tatsache ist, daß man schon im Altertume über die Deutung des da gebrauchten Wortes im Zweifel war und daß in neuerer Zeit über sie eine ganze mächtige Literatur erwachsen ist. In dem letzten Dialoge Platos, „den Gesetzen," dem Werke seines Greisenalters endlich, findet sich eine Stelle, die in der Darstellung seiner kosmischen Anschauungen noch viel weiter geht, als die eben erwähnte. Sie lautet: „Mein lieber Freund, die Meinung, daß die Sonne, der Mond und die anderen Sterne herumschweifen, ist nicht richtig. Es geschieht gerade das Gegenteil, daß jeder dieser Sterne nur einen einzigen Weg bei seinem Umschwung durchläuft, wenn er sich auch auf mehrfachen Wegen zu bewegen scheint, und das Gestirn, welches in Wahrheit das schnellste ist, betrachten wir fälschlich als das langsamste und umgekehrt." Man kann aus ihr entnehmen, daß Plato in seinen letzten Lebensjahren sogar das heliozentrische Weltsystem gekannt, und es, wenn auch nicht gerade für richtig, so doch als zur Erklärung aller Bewegungserscheinungen der Sterne am Himmel geeignet gehalten habe. Fragt man nach den äußeren Ursachen, die Plato veranlaßt haben dürften, seine Lehrmeinung mit so wenig Entschiedenheit zu vertreten, so ist die Antwort auf diese Frage eine doppelte. Die einen sagen, daß die Anschauungen Platos über die Bewegungen der Himmelskörper überhaupt während seines langen der Wissenschaft gewidmeten Lebens mannigfache Wandlungen durchgemacht haben. Anfangs war er ein Anhänger des geozentrischen Systems, in seinem späteren Alter, vielleicht nach seinem Aufenthalt in Syrakus, durch das Studium der pythagoräischen Astronomie angeregt, bekannte er sich zur Lehre des Philolaus, ja in seinen letzten Lebensjahren entwickelte er sogar direkt das heliozentrische System. Daß diese Darstellung richtig ist, dafür spricht der Umstand, daß sich unter den Schülern Platos zwei vorfinden, von denen der eine schon erwähnte Herakleides Ponticus seine Lehren im heliozentrischen Sinne vervollständigte, der andere erst zu erwähnende, Eudoxus ein starrer Vertreter der geozentrischen Anschauung war. Andere aber wieder meinen, daß Plato hauptsächlich aus Furcht, ein ähnliches Schicksal zu erdulden,

wie es wenige Jahre vorher Anaxagoras trotz des Schutzes seines mächtigen Freundes Perikles erlebte, oder wie es sein Lehrer Sokrates wirklich erlitt (beide waren bekanntlich der Verbreitung irreligiöser Lehren angeklagt) seine wahren Anschauungen nicht klar und deutlich ausgesprochen habe. Ist diese Meinung richtig, dann ist damit eine zweite Analogie in dem alten Kampfe gegeben, den die zwei hauptsächlichsten Weltsysteme gegeneinander kämpften, eine Analogie, welche Plato in die gleiche Reihe stellt mit Galilei, dem berühmten Verteidiger des koppernikanischen Systems gegen die Angriffe der Aristoteliker.

Die Darstellung, welche Plato im Timaios von seinen kosmogonischen Ideen gibt, ist eine so poetisch schwungvolle, das es nicht ohne Interesse sein dürfte, hier einen Auszug davon mitzuteilen.

„Ehe der Weltbaumeister die Welt schuf, gab es zweierlei: die Idee und den Stoff; die Idee als das Bild des unter dem Einflusse eines ordnenden Geistes sich gestaltenden chaotischen Stoffes. Denn weil Gott wollte, daß alles gut, nichts aber, soweit als möglich, schlecht sei, so nahm er alles, was sichtbar war und nicht in Ruhe sich befand, sondern in unregelmäßiger und ungeordneter Bewegung und führte es aus Unordnung zur Ordnung, indem er diesen Zustand für besser hielt als jenen. Dem Universum gab er eine Gestalt, welche alle anderen Gestalten in sich faßt. Deshalb drehte er es kugelförmig, von der Mitte an überall nach den Enden gleich weit abstehend, in Gestalt eines Kreises, der unter allen geometrischen Figuren am vollkommensten und ihm am ähnlichsten ist, weil er der Ansicht war, daß das ihm Ähnliche 1000mal schöner sei als das ihm Unähnliche.

„Als nun der Vater, der das All schuf, bemerkte, daß es bewegt, belebt und ein Abbild der ewigen Götter geworden war, war er voller Freude darüber und beschloß. es seinem Abbilde noch ähnlicher zu machen. So entstand die Sonne, der Mond und die fünf Planeten, zu dem Zwecke, um die Zahlen zu zählen, die die Zeit messen. Nachdem er ihre Körper erschaffen, setzte er sie in Kreise, die sie in direktem Sinne beschreiben müssen, zuerst den Mond, dann die Sonne, dann Merkur und Venus in derselben Umlaufzeit wie die Sonne, und die drei anderen Planeten. Damit er eine klare Messung ihrer Geschwindigkeiten habe, und, um ihre Umläufe besser zu

lenken, zündete er in dem zweiten Kreise außerhalb der Erde ein Licht an, das den lebhaftesten Glanz unter allen Himmelskörpern in der Unendlichkeit des Alls hat, damit es Anteil habe an der Kenntnis der Zahlen der Zeit. Auf diese Art entsteht Tag und Nacht, ferner durch die Kreisbewegung des Mondes der Monat und das Jahr, wenn das große Licht selbst seinen Kreis durchläuft.

So war alles getreu nach dem Abbilde Gottes erschaffen. Nur die Lebewesen waren noch nicht da. Sie fehlten und, um die Ähnlichkeit mit seinem Abbild noch vollkommener zu machen erschuf er sie in vier Formen: 1. als himmlische Wesen, aus Feuer bestehend, 2. als Wesen, die in der Luft fliegen, 3. als solche, die im Wasser leben und 4. die auf der Erde sich bebewegen. Er begann natürlich mit der Erschaffung der göttlichen Wesen, die aus Feuer bestehen, und gab ihnen die Gestalt von Kugeln, sowie Vernunft, daß sie im Einklang mit dem ganzen All ihre vorgeschriebenen Wege wandeln, und zerstreute sie längs des ganzen Alls, damit sie eine Zierde desselben bilden. Zwei Bewegungen hatten sie auszuführen, eine um sich selbst, als Resultat des Beharrens in demselben inneren Gedanken und eine fortschreitende Bewegung, d. i. die tägliche. Aber er machte sie unfähig, noch andere Bewegungen auszuführen, wie die Planeten, damit sie stets so vollkommen als möglich blieben. Dies waren die Fixsterne, göttliche Wesen, die unveränderlich am Himmel dieselbe Lage bewahren.

„Was aber die Erde anlangt, unsere Ernährerin, die (und nun kommt die so viel umstrittene Stelle) einen Körper bildet mit der Achse der Welt, der sie sich fest anschmiegt, so machte er sie zur Wächterin und Werkmeisterin von Tag und Nacht, sie, die erste und älteste unter allen Göttern, welche innerhalb des Himmels entstanden sind.“

III. Die Blütezeit der griechischen Astronomie.

Die gesteigerte Aufmerksamkeit und das lebhafte Interesse, welches die Griechen seit Pythagoras den Erscheinungen der Planeten am Himmel entgegenbrachten, Sonne und Mond hierbei mit eingerechnet, führte sie zur Entdeckung der mannigfachen in den Bewegungen derselben vorhandenen Unregelmäßigkeiten. Da deren Kenntnis für das Verständnis des Entwickelungsganges der Astronomie in der Zeit nach Plato notwendig ist, so möge vor allem eine kurze Darstellung aller dieser Unregelmäßigkeiten oder, wie die Griechen sie nannten, Anomalien oder Ungleichheiten hier folgen.

Die Fixsterne zeigen in ihrer Bewegung am Himmel keine Anomalie. Beobachtet man sie stets von einem und demselben Orte auf der Erde, so scheint es, als ob sie Tag für Tag und ebenso jahrein und jahraus an gleichen Punkten des Horizontes aufgehen, an gleichen wieder untergehen und hierbei genau dieselben Parallelkreise am Himmel beschreiben. Zur Erklärung dieser Bewegung genügt die Annahme einer Kristallsphäre, an der man sich sie wie Nägel festhaftend vorzustellen hat und die innerhalb 24 Stunden eine Umdrehung um die Weltachse ausführt, oder wie es die koppernikanische Lehre sagt und, wie erwähnt, auch schon im Altertum behauptet wurde, die Annahme einer Drehung der Erde um ihre Achse im entgegengesetzten Sinne, nämlich von Westen gegen Osten.

Wesentlich anders steht es schon mit der Sonne. Zunächst zeigt sie die gleiche Bewegung wie die Fixsterne. Sie geht an bestimmten Punkten des Horizontes auf, an den entgegengesetzten unter und beschreibt während eines Tages einen Parallelkreis am Himmel. Diese Bewegung nennt man ihre tägliche. Außerdem zeigt sie noch eine jährliche. Man erkennt diese 1. daran, daß die täglich von ihr beschriebenen Parallelkreise sich nicht gleich bleiben, wie es bei den Fixsternen der Fall ist, sondern

bald höher, bald tiefer gegen den Horizont des Beobachtungsortes liegen und durch ihren wechselnden Stand den Wechsel der Jahreszeiten bedingen, oder auch 2. daran, daß die täglichen Auf- und Untergangspunkte nicht immer nach Osten und Westen fallen, sondern sich im Laufe eines Jahres gegen Norden im Sommer, und gegen Süden im Winter verschieben. Man erkennt sie aber auch 3. an der Tatsache, daß die Sterne, die man in der Morgendämmerung gleichzeitig mit der Sonne aufgehen, oder in der Abenddämmerung mit ihr untergehen sieht, regelmäßig wechseln. Man findet so, daß sie im Laufe eines Jahres alle Sterne des Tierkreises durchläuft, aber in einer Ebene, welche gegen die Ebene des Himmelsäquators, d. i. des am Tage der Frühlings- oder Herbsttag- und Nachtgleiche beschriebenen Parallelkreises ein wenig geneigt ist und deshalb die schiefe Ebene oder auch Ekliptik genannt wird. Zur Erklärung dieser Bewegung genügt, wie bei der täglichen Bewegung der Fixsterne, die Annahme einer speziellen Sphäre für die Sonne, wenn nur die Drehung derselben um eine Achse erfolgt, welche gegen die Weltachse den gleichen Neigungswinkel hat, wie die Ekliptik gegen den Äquator. Die Erklärung beider Bewegungen der Sonne, der täglichen wie der jährlichen, bietet daher nach der Theorie der Kristallsphären keine Schwierigkeit. Es fällt jedoch in die geschilderte Epoche nach Pythagoras oder noch in die Lebenszeit Platos die Entdeckung einer wirklichen Unregelmäßigkeit oder Anomalie in der Bewegung der Sonne, zu deren Erklärung die Lehre von den Kristallsphären nicht mehr hinreicht, wenn man nicht eine ungleichförmige Drehung der Sphären annehmen will. Meton, dessen Name schon früher bei der griechischen Zyklenrechnung erwähnt wurde, fand, daß die Zwischenzeiten zwischen den 4 Hauptmomenten eines Jahres, nämlich der Frühlingstag- und Nachtgleiche, der Sommersonnenwende, dem Herbst-Äquinoktium und der Wintersonnenwende nicht gleich seien, oder daß das Jahr durch sie nicht in 4 gleiche Teile geteilt werde. Hipparch gibt für diese Zwischenzeiten die Zahlen an:

Frühjahrs-Äquinoktium	bis zum	Sommer-Solstitium	$94\,^1/_2$	Tage,
Sommer-Solstitium	„ „	Herbst-Äquinoktium	$92\,^1/_2$	„
Herbst-Äquinoktium	„ „	Winter-Solstitium	88	„
Winter-Solstitium	„ „	Frühjahrs-Äquinokt.	90	„

und diese Ungleichheit zeigt sich auch jetzt noch in der Bewegung

der Sonne. Entnimmt man einem Kalender die Daten dieser 4 Hauptepochen eines Jahres und berechnet sich die Zwischenzeiten, so findet man die Zahlen:

92,9 93,6 89,7 89,0 Tage,

aber man weiß nunmehr seit Keppler, daß diese Ungleichheit der elliptischen, d. h. mit veränderlicher Geschwindigkeit vor sich gehenden Bewegung der Erde um die Sonne entstammt.

Der Mond zeigt zunächst dieselbe tägliche Bewegung wie die Sonne und die Fixsterne, d. h. ein regelmäßiges Auf- und Untergehen und damit in Verbindung das Zurücklegen von Parallelkreisen am Himmel. Außerdem zeigt er eine monatliche Bewegung entsprechend der jährlichen der Sonne. Diese ist beim Monde sehr leicht zu erkennen: 1. an den Veränderungen seiner Lichtgestalt oder Phase, die von seinen verschiedenen Stellungen zur Sonne und Erde und den hierdurch geänderten Beleuchtungsverhältnissen herrühren, 2. auch daran, daß die täglichen Parallelkreise, die er beschreibt, verschiedene Lagen gegen den Horizont haben, d. h. der Mond bald höher am Himmel wie die Sonne im Sommer, bald tiefer am Himmel wie die Sonne zur Winterszeit seine tägliche Bahn beschreibt, 3. endlich an den Sternen, in deren Nähe er während seines Umlaufes sich befindet. Diese letztere Beobachtung gestattet es auch, die monatliche Bahn des Mondes zu untersuchen. Sie erfolgt ebenso wie die der Sonne in einer Ebene, welche mit dem Äquator einen Neigungswinkel von 28° einschließt, so daß sie mit der Ekliptik oder der Ebene der Sonnenbahn einen Winkel von 5° bildet. Zur Erklärung dieser Bewegung reicht die Annahme einer speziellen Sphäre für den Mond hin, deren Drehung um eine Achse erfolgt, die gegen die Drehungsachse der Sonnensphäre nur um 5° geneigt sein müßte. Man hatte wohl auch schon damals erkannt, daß die Dauer einer solchen Drehung der Mondsphäre durch das Zurückkehren des Mondes zu demselben Stern des Tierkreises bestimmt und nicht identisch sei mit der Zwischenzeit zwischen 2 aufeinanderfolgenden gleichen Mondphasen. Jene beträgt etwa 27 Tage 8 Stunden, diese dagegen 29 Tage 13 Stunden und die Ursache dieses Unterschiedes, wie ebenfalls damals schon bekannt war, liegt darin, daß, während der Mond in 27 Tagen zu demselben Punkte des Zodiakus zurückkehrt, die Sonne inzwischen ebenso einen Teil ihrer jährlichen Bahn zurücklegt, so daß der Mond

ihr nacheilen muß, um in eine Stellung zu ihr zu gelangen, die der Ausgangsphase entspricht. Die tägliche Geschwindigkeit der Sonne zwischen den Sternen des Tierkreises beträgt:

$$360^0 : 365{,}25 = 0^0{,}9856,$$

die des Mondes $360^0 : 27{,}3217 = 13^0{,}1764$. Waren daher Sonne und Mond, etwa zur Zeit eines Neumondes, bei demselben Sterne so entfernen sie sich täglich um $13^0{,}1764 - 0^0{,}9856 = 12^0{,}1908$ voneinander und kehren zu derselben Stellung zueinander erst wieder zurück nach $360^0 : 12^0{,}1908 = 29$ Tagen 13 Stunden. Bekanntlich nennt man die erstere Umlaufzeit die siderische, die zweite die synodische.

Der Mond zeigt ferner in seiner monatlichen Bewegung um die Erde eine ähnliche Unregelmäßigkeit wie die Sonne, deren Entdeckung wahrscheinlich um dieselbe Zeit durch Meton erfolgte. Sie besteht darin, daß die Zwischenzeiten zwischen den 4 Hauptmomenten im Umlauf des Mondes um die Erde, dem Moment des Neumondes, des ersten Viertels, des Vollmondes und des dritten Viertels, nicht einander gleich sind, oder daß diese Epochen keine gleiche Teilung der Monatslänge bedingen. Auch hier liegt die Ursache dieser Anomalie, wie man seit Keppler weiß, in der elliptischen, d. h. ungleichförmigen Bewegung des Mondes um die Erde. Doch neben dieser Ungleichheit ist beim Monde noch eine zweite vorhanden, eine Ungleichheit, der die von altersher bekannte Periode der Finsternisse, die Saros, entspringt. Zu ihrer Erklärung möge die folgende Darstellung genügen: Würde die Ebene der Mondbahn mit der der Sonnenbahn zusammenfallen, so müßte bei jedem Neumond eine Sonnenfinsternis, bei jedem Vollmond eine Mondesfinsternis eintreten, da Mond, Sonne und Erde, wenn sie in diesen Fällen in einerlei Richtung liegen, auch schon notwendigerweise in eine Linie zu liegen kämen und so stets der Schattenkegel des Mondes die Erde oder der der Erde den Mond träfe. In Wirklichkeit fallen aber beide Ebenen nicht zusammen, sondern schließen miteinander einen wenn auch kleinen Winkel ein. Es wird daher im allgemeinen der Schatten des Mondes ober- oder unterhalb der Erde oder der der Erde ober- oder unterhalb des Mondes fallen, d. h. weder eine Sonnen- noch eine Mondesfinsternis statthaben, ausgenommen den Fall, daß Neumond oder Vollmond in die Knotenlinie zu liegen kommen, d. i. jene Linie, in der sich die beiden Bahnebenen von Mond und Sonne schneiden.

Offenbar kann dies nur zweimal im Jahre sich ereignen und daher sind während eines Jahres höchstens zwei Sonnenfinsternisse möglich, die stets auf das gleiche Jahresdatum mit einer Zwischenzeit von einem halben

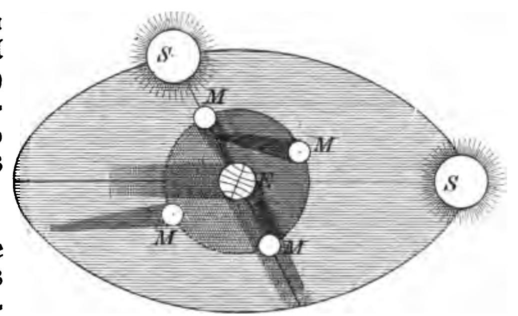


Fig. 2. Die Bahn des Mondes und der Sonne um die Erde. Sonnen- und Mondesfinsternisse.

Jahre fallen müßten, und mindestens 2 Mondesfinsternisse mit derselben Zwischenzeit.

Da aber dies nicht der Fall ist, sondern in der Reihenfolge der Finsternisse eine Periode von der Dauer einer Saros von 18 Jahren 11 Tagen gilt, erkannte man schon im Altertum als den wahren Grund dieses Sachverhaltes den an, daß die Knotenlinie keine konstante Richtung im Raume habe, vielmehr sich langsam mit einer von dieser Periode etwas verschiedenen Drehungszeit zwischen den Sternen des Tierkreises und zwar im entgegengesetzten Sinne zum Laufe des Mondes drehe und den ganzen Tierkreis durchlaufe. Daher ist die Zwischenzeit zwischen zweiaufeinanderfolgenden Sonnenfinsternissen kleiner als ein halbes Jahr oder die Finsternisse wiederholen sich in gleicher Reihenfolge und unter gleichen Sichtbarkeitsverhältnissen nicht jährlich, sondern erst nach 18 Jahren 11 Tagen.

Weit größere Schwierigkeiten als Mond und Sonne bereiteten den Astronomen des Altertums die Bewegungserscheinungen der Planeten. Zunächst sah man an ihnen die gleiche tägliche Bewegung wie an den Fixsternen und an Mond und Sonne; ferner zeigten sie ebensolche Bewegungen am Himmel innerhalb der Sterne des Zodiakus wie die Sonne in ihrem jährlichen, der Mond in seinem monatlichen Lauf um die Erde, nur daß die vollen Umläufe bei den verschiedenen Planeten von sehr verschiedener Dauer waren, und schließlich erwiesen sich diese Bewegungen, ebenso wie die von Mond und

Sonne ungleichförmig. Aber außerdem waren noch andere Anomalien vorhanden. Bei Merkur und Venus beobachtet man die Eigentümlichkeit, daß sie der Sonne bald voran eilen und dann als Morgensterne am östlichen Himmel in der Morgendämmerung sichtbar sind, bald ihr nachfolgen und dann als Abendsterne in der Abenddämmerung am westlichen Himmel erscheinen, sich aber nie sehr weit von der Sonne entfernen. Beim Planeten Merkur beträgt die größte Elongation 18—27°, bei der Venus 44—47°. Demzufolge glaubte man, daß die zodiakale Umlaufszeit beider Planeten, d. h. die Zeit, die sie brauchen, um zu demselben Sterne des Tierkreises zurückzukehren, gleich sei einem Jahre als der Umlaufzeit der Sonne, während man für die Zwischenzeit zwischen einer östlichen und der folgenden westlichen größten Elongation von der Sonne die Werte fand:

für Merkur 58, für die Venus 292 Tage.

Die anderen Planeten, Mars, Jupiter und Saturn zeigen diese Eigentümlichkeit nicht. Sie können sich von der Sonne bis 180° entfernen, und sind in diesem Falle, da sie aufgehen, wenn die Sonne untergeht und untergehen bei Sonnenaufgang, die ganze Nacht sichtbar. Man nennt diese ihre Lage in bezug auf Sonne und Erde ihre Opposition, im Gegensatze zur Konjunktion, die dann eintritt, wenn sie von der rascher bewegten Sonne eingeholt werden, mit ihr gleichzeitig auf- und untergehen und in ihren blendenden Strahlen verschwinden.

Verfolgt man jedoch den Lauf der Planeten zwischen den Sternen des Tierkreises genauer, so zeigt sich in ihm noch eine Unregelmäßigkeit von besonderer Art, wie sie weder bei der Sonne noch beim Monde vorkommt. Sie besteht darin, daß sich die Planeten wohl im allgemeinen zwischen den Sternen in demselben Sinne bewegen wie die Sonne und der Mond (man nennt diese Bewegung rechtläufig), daß sie aber in einem bestimmten Momente stillstehen, für einige Zeit sich im entgegengesetzten Sinne zwischen den Sternen bewegen (rückläufige Bewegung), dann wieder einen Moment stillstehen, worauf erst sich ihre Bewegung von neuem in eine rechtläufige verwandelt. Sie beschreiben, wie daraus zu ersehen ist, kleine oder größere Schleifen am Himmel.

Die Figuren 3a, b, c, geben einige charakteristische Bilder solcher Schleifen für die Planeten Venus, Mars, Jupiter und Saturn.

Die Zwischenzeiten zwischen dem Beginn einer rückläufigen

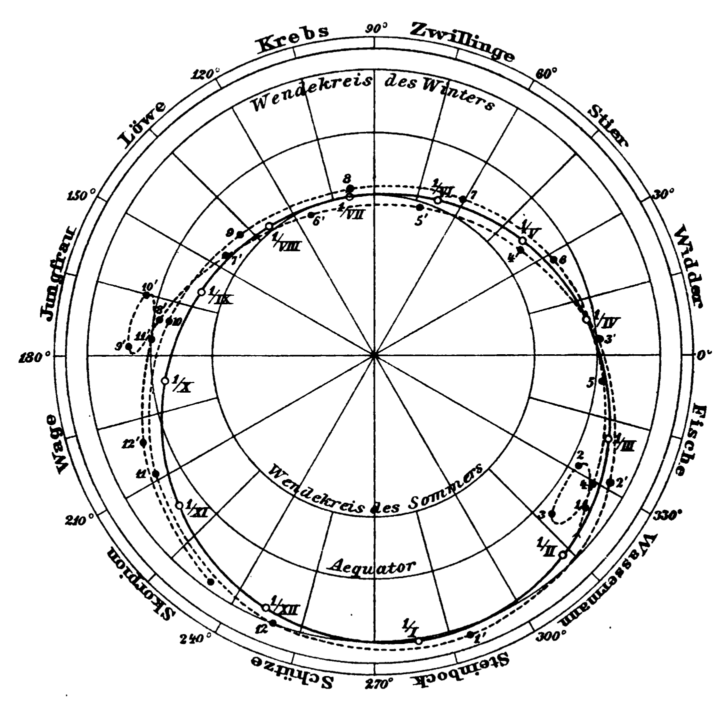


Fig. 3a.

——— Der jährliche Lauf der Sonne und ihre Stellung am 1. eines jeden Monates, 1/I, 1/II ... 1/XII.

.... Die scheinbare Bahn der Venus vom 1. Januar 1902—1. Januar 1904.

1, 2, 3, ... 12 die Stellung am 1. eines jeden Monats i. J. 1902,
1′, 2′, 3′, ... 12′ „ „ „ „ „ „ „ „ „ 1903.

Bewegung, einer Retrogradation, bis zur nächsten sind natürlich für die verschiedenen Planeten verschieden. Die Beobachtung gibt für sie die Werte:

Merkur 116, Venus 585, Mars 780, Jupiter 399, Saturn 378 Tage.

Die Dauer einer solchen retrograden Bewegung ist:
Merkur 22, Venus 42, Mars 70, Jupiter 121, Saturn 140 Tage,

und die Größe des während derselben zurückgelegten Bogens:
Merkur 12°, Venus 16°, Mars 15°, Jupiter 10°, Saturm 8°.

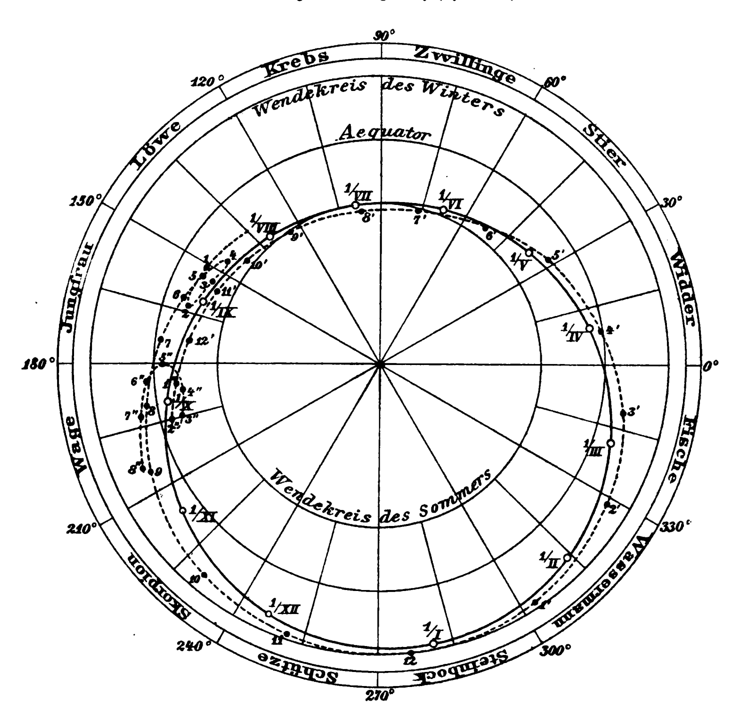


Fig. 3b.

——— der jährliche Lauf der Sonne und ihre Stellung am 1. eines jeden Monates, 1/I, 1/II . . . 1/XII.

.... die scheinbare Bahn des Mars vom 1. Januar 1901—1. August 1903.

1, 2, 3, . . . 12 die Stellung am 1. eines jeden Monats i. J. 1901,
1′, 2′, 3′, . . . 12′ „ „ „ „ „ „ „ „ „ 1902,
1″, 2″, 3″, . . . „ „ „ „ „ „ „ „ „ 1903.

§ 13. Alle diese Beobachtungsresultate und Ergebnisse weisen auf eine äußerst rege Tätigkeit der griechischen Astronomen hin seit Pythagoras bis auf Plato, dem schon fast alle der eben erörterten Anomalien, namentlich aber die Schleifenbildungen oder die verschlungenen Bahnen der Planeten bekannt waren. Es ist nun sehr wahrscheinlich, daß sich die Astronomen der damaligen Zeit für ihre Beobachtungen spezielle Vorrichtungen konstruierten, daß sie mit ihrer Hilfe leichtere astronomische Aufgaben lösten, wie die Berechnung der Zeit der

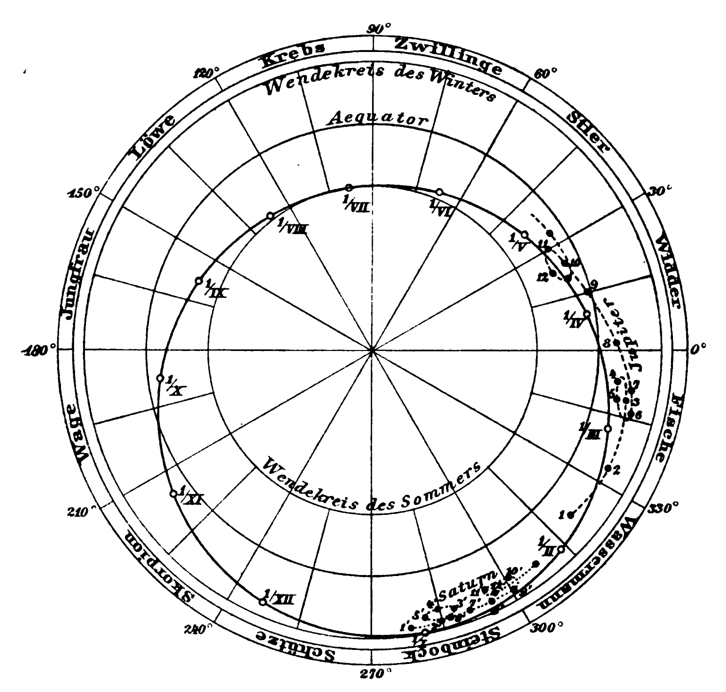


Fig. 3c.

——— der jährliche Lauf der Sonne und ihre Stellung am 1. eines jeden Monates, 1/I, 1/II . . . 1/XII.
------- die scheinbare Bahn des Jupiter vom 1. Januar 1903—1. Januar 1905 von 2 zu 2 Monaten (1, 2, 3, . .).
.... die scheinbare Bahn des Saturn vom 1. Januar 1901—1. Januar 1903 von 2 zu 2 Monaten (1′ 2′ 3′ . . .).

Sonnenauf- und Untergänge, ebenso die der Auf- und Untergänge des Mondes, die der Dauer des längsten Tages und der kürzesten Nacht auf verschiedenen Parallelkreisen, daß sie aber auch schwierigere zu lösen versuchten, wie etwa Aufgaben über die Bewegungen der Planeten und die Bestimmung der da auftretenden so verschiedenen Perioden. Plato macht direkt die Möglichkeit, die Bewegungen und Stellungen der Himmelskörper voneinander und zur Erde zu einem richtigen Verständnis zu bringen, von der Verwendung künstlicher Hilfsmittel abhängig. Dieselben dürften die Formen von Kugeln, Globen

oder Tellurien gehabt haben, auf welche man die beobachteten Planetenorte einzeichnete und so sich über ihre Bahn am Himmel Klarheit verschaffte. Archimedes berichtet in der berühmten Stelle seiner „Sandrechnung", in der er von dem heliozentrischen System des Aristarch erzählt, daß dieser graphische Darstellungen gewisser Hypothesen gegeben habe, nach denen die Welt bedeutend größer sei als eine Kugel, deren Radius von der Sonne zur Erde gehe, und daß er annehme, daß die Fixsterne samt der Sonne unbeweglich seien, die Erde aber in einer Kreislinie um die Sonne als Zentrum geführt werde. Der Ausdruck „graphisch" deutet darauf hin, daß Aristarch sich nicht auf eine bloße Beschreibung seines neuen Weltsystems beschränkte, sondern daß er sich ein Modell konstruiert haben dürfte, das geeignet war, die Vorteile seines Systems dem geozentrischen gegenüber hervorzuheben.

Die beobachteten Tatsachen und Entdeckungen reizten nunmehr zum Nachdenken darüber, wie sie zu erklären seien. Es entstand das geflügelte Wort: „die Erscheinungen retten", als der Ausdruck dieses Bestrebens, und kein Geringerer als Plato stellt den Astronomen die Aufgabe, wie durch eine Zusammensetzung gleichförmiger und kreisförmiger Drehungen alle Unregelmäßigkeiten in den Planetenbahnen erklärt werden könnten. Damit war das Hauptproblem der Astronomie zum ersten Male ausgesprochen und formuliert, aber erst Koppernikus, Keppler und Newton fanden die Lösung.

In dieser ersten Formulierung und Fragestellung durch Plato liegt jedoch eine gewisse Voreingenommenheit, die der Lösung der Aufgabe von vorneweg hindernd im Wege stand. Man trat nicht unbefangen an die Bewältigung des Problems, sondern versuchte sie nur von gewissen, als absolut richtig erkannten, axiomatischen Grundsätzen aus durchzuführen. Diese Grundsätze waren: 1. Alle Bewegungen am Himmel sind vollkommen und 2. vollkommene Bewegungen sind unter allen möglichen nur gleichförmige, d. h. mit unveränderlicher Geschwindigkeit verlaufende und kreisförmige, daher können Bewegungen der Himmeskörper nur gleichförmige Kreisbewegungen sein. Man erkennt leicht in diesen Grundsätzen pythagoräische Gedanken über die Ordnung und Harmonie im Kosmos.

§ 14. Der erste Grieche, der die Frage Platos beantwortete, war Eudoxus aus Knidos in Kleinasien, ein Schüler des schon erwähnten Archytas von Tarent, der ihn in der Geometrie unter-

richtete, und dann Platos in Athen, von dem er wohl die Grundidee zu seiner astronomischen Theorie empfangen haben dürfte. Von seinem Werke, „Über die Geschwindigkeiten" benannt, das die Darstellung seiner Lehre enthielt, sind nur einige wenige Bruchstücke und Auszüge erhalten, die sich bei Aristoteles u. a. vorfinden, aber in einem so unvollkommenen Zustande, daß man, ihren Wert erst in neuerer Zeit erkennend, Mühe hatte, aus ihnen sein System zu rekonstruieren.

Das Wesentliche der Eudoxischen Planetentheorie bestand in der Annahme konzentrischer Sphären, die sich mit konstanter Geschwindigkeit, aber um verschiedene Achsen drehen, die gegeneinander um gewisse Winkel geneigt sind. Indem er für jeden Planeten, wie auch für Sonne und Mond eine bestimmte Anzahl solcher Sphären voraussetzte, konnte er einige der bekannten Ungleichheiten in ihren Bewegungen mit größerer oder geringerer Genauigkeit darstellen. Eine vollständige Auseinandersetzung des Systems des Eudoxus hier zu geben, ist zu schwierig. Es möge genügen, nur an dem Beispiele des Mondes zu zeigen, wie er sich die Verbindung dieser Sphären dachte. Zur Erklärung seiner Bewegung nahm Eudoxus drei Sphären an: die erste äußerste, der er eine Drehung um die Weltachse von Ost nach West in der Zeit eines Tages zuschrieb, die zweite mittlere, die eine Drehung im entgegengesetzten Sinne von West nach Ost um eine Achse, die auf der Ekliptik senkrecht stand, in der Zeit von 18 Jahren 219 Tagen ausführte und die dritte innerste, die sich in der Zeit von 27 Tagen um eine auf der Ebene der Mondbahn senkrecht stehende Achse drehte. Die Drehung der ersten Kugel teilte sich auch der zweiten mit, und die Drehung dieser sowie der ersten auch der dritten, so daß, wenn man annahm, daß in einem Äquatorpunkte der dritten oder letzten der Mond fest hafte, sich als Folge dieser dreifachen Bewegung der komplizierte Lauf des Mondes am Himmel ergibt. Hierdurch ist die tägliche, monatliche, sowie die Knotenbewegung des Mondes erklärt und nur noch die Unregelmäßigkeit in seiner monatlichen Bahn, nach der die Zwischenzeiten zwischen den Hauptphasen ungleich sind, blieb fraglich. Es scheint, daß Eudoxus von dieser Ungleichheit noch keine Kenntnis hatte und erst Kallippus, sein Schüler, ergänzte die Mondtheorie auch nach dieser Richtung, indem er noch zwei Sphären annahm, so daß zur vollen „Rettung" des kom-

plizierten Laufes des Mondes am Himmel, d. h. zur vollen Darstellung aller seiner Ungleichheiten durch gleichförmige Kreisbewegungen fünf hintereinander gelagerte Sphären mit verschiedenen Drehungsachsen sich als notwendig erwiesen. Ganz analog stand es mit der Sonne und ebenso auch bei den Bewegungen der Planeten. Im ganzen mußten Eudoxus und Kallippus für Saturn und Jupiter je vier, für die anderen fünf Himmelskörper je fünf, in Summe daher 33 solcher Sphären voraussetzen.

Es ist nicht leicht, selbst mit den gegenwärtig bekannten mathematischen Hilfsmitteln, sich aus diesen zusammengesetzten Kreisbewegungen, sei es durch Rechnung oder auch nur durch Zeichnung, ein richtiges Bild von der scheinbaren Bewegung der Himmelskörper herzustellen, oder gar den Ort eines derselben am Himmel vorauszusagen, um wie viel mehr dürfte es Eudoxus schwer gewesen sein, diese Aufgabe zu lösen. Wahrscheinlich benutzte er zu ihrer Lösung, wie es damals Gebrauch war, kugelförmige Modelle. So roh dann auch die Lösung gewesen sein mag, so gibt doch die bloße Tatsache, eine solche angestrebt und auch erzielt zu haben, beredtes Zeugnis von dem Scharfsinn des Eudoxus.

Eine Frage ist hier noch zu beantworten, und zwar eine von mehr kulturhistorischer als rein wissenschaftlicher Bedeutung, die nämlich, ob sich Eudoxus und auch sein Schüler Kallippus diese Sphären, an denen die Planeten wie Nägel festhaften, als real existierend dachten, oder aber ob sie sie bloß als geometrische Konzeptionen auffaßten, d. h. als Hilfsmittel, nur dazu ersonnen, um die verwickelten Bahnen derselben in ihre gleichmäßigen und kreisförmigen Komponenten zu zerlegen. Letzteres scheint das wahrscheinlichere zu sein, aber kein Geringerer als Aristoteles war es, der die Eudoxische Theorie der Planetenbewegungen in sein kosmologisches System aufnahm und gemäß seinen physikalischen Anschauungen ihr eine reale Unterlage gab. Nach Aristoteles waren alle diese ineinander gelagerten Kugeln, die sich wechselseitig ihre Drehungen mitteilten, wirkliche Kristallsphären. Das Himmelsgewölbe bestand tatsächlich aus einer bestimmten Anzahl derartiger rindenartig ineinander liegenden Sphären von verschiedenem Drehungssinn und verschiedener Drehungsgeschwindigkeit, von denen einzelne die Himmelskörper trugen und deren äußerste, als Sphäre der Fixsterne, den Bewegungsantrieb für alle anderen, das primum mobile, wie Aristoteles sie nennt, abgab.

Während aber Eudoxus und Kallippus die Bewegungen der einzelnen Sphären als unabhängig voneinander sich vollziehend ansahen, d. h. annahmen, daß die fünf Sphären des Mondes, die dessen eigentümlichen Lauf am Himmel verursachen in ihren Bewegungen ganz unabhängig seien von denen der Sonne, und diese ebenso von denen der Venus usw., nahm Aristoteles dagegen daran Anstoß. In seinem physikalischen Darstellungsversuch waren solche für sich existierende und unabhängig von einander bewegte Sphären unmöglich. Vielmehr mußte jede äußere alle in ihr gelegenen inneren mit sich fortbewegen, wie eben die Fixsternsphäre alle anderen mit sich fortreißt. Die Folge davon ist, daß nur die Bewegung des Saturn, als des entferntesten Planeten, durch die Eudoxische Theorie richtig dargestellt wird, die jedes anderen der Erde näheren Planeten aber dadurch, daß seine Sphären auch an der Bewegung der entfernteren teilnehmen, ganz unregelmäßig verlaufen muß. Es brauchte daher Vorrichtungen, durch welche der Einfluß der äußeren auf die in ihnen gelegenen inneren Sphären rückgängig gemacht wird. Aristoteles findet sie in einer entsprechenden Anzahl neuer Sphären, die er, weil sie der Bewegung aller sie einschließenden äußeren entgegenwirken sollen, reagierende nennt.

Das Weltbild des Aristoteles ist darnach das folgende: Die erste äußerste Sphäre des Himmelsgewölbes ist die der Fixsterne. Sie dreht sich binnen eines Tages um die Weltachse und schließt als nächste die vier Sphären des Saturn ein, die dessen eigentümliche Bewegung am Himmel hervorrufen. Nun sollten die vier Sphären des Jupiter kommen. Da sich aber die Drehungen der Saturnsphären auch diesen mitteilen würden, so müßten hier vorerst reagierende Sphären, und zwar drei an der Zahl, zwischengeschaltet werden, die erst die Bewegungen der Saturnsphären aufheben und den Standpunkt wiederherstellen, als ob nur die Fixsternsphäre oder das primum mobile da wäre. Dann erst sind die vier den Jupiter tragenden Kugeln anzunehmen, hierauf wieder drei reagierende, die die Drehungen jener rückgängig machen usf. bis zu den fünf innersten Sphären des Mondes, nach denen man keine reagierende Sphären mehr braucht. Im ganzen waren daher

für den Saturn	4	revolvierende	und	3	reagierende
„ den Jupiter	4	„	„	3	„
„ den Mars	5	„	„	4	„

plizierten Laufes des Mondes am Himmel, d. h. zur vollen Darstellung aller seiner Ungleichheiten durch gleichförmige Kreisbewegungen fünf hintereinander gelagerte Sphären mit verschiedenen Drehungsachsen sich als notwendig erwiesen. Ganz analog stand es mit der Sonne und ebenso auch bei den Bewegungen der Planeten. Im ganzen mußten Eudoxus und Kallippus für Saturn und Jupiter je vier, für die anderen fünf Himmelskörper je fünf, in Summe daher 33 solcher Sphären voraussetzen.

Es ist nicht leicht, selbst mit den gegenwärtig bekannten mathematischen Hilfsmitteln, sich aus diesen zusammengesetzten Kreisbewegungen, sei es durch Rechnung oder auch nur durch Zeichnung, ein richtiges Bild von der scheinbaren Bewegung der Himmelskörper herzustellen, oder gar den Ort eines derselben am Himmel vorauszusagen, um wie viel mehr dürfte es Eudoxus schwer gewesen sein, diese Aufgabe zu lösen. Wahrscheinlich benutzte er zu ihrer Lösung, wie es damals Gebrauch war, kugelförmige Modelle. So roh dann auch die Lösung gewesen sein mag, so gibt doch die bloße Tatsache, eine solche angestrebt und auch erzielt zu haben, beredtes Zeugnis von dem Scharfsinn des Eudoxus.

Eine Frage ist hier noch zu beantworten, und zwar eine von mehr kulturhistorischer als rein wissenschaftlicher Bedeutung, die nämlich, ob sich Eudoxus und auch sein Schüler Kallippus diese Sphären, an denen die Planeten wie Nägel festhaften, als real existierend dachten, oder aber ob sie sie bloß als geometrische Konzeptionen auffaßten, d. h. als Hilfsmittel, nur dazu ersonnen, um die verwickelten Bahnen derselben in ihre gleichmäßigen und kreisförmigen Komponenten zu zerlegen. Letzteres scheint das wahrscheinlichere zu sein, aber kein Geringerer als Aristoteles war es, der die Eudoxische Theorie der Planetenbewegungen in sein kosmologisches System aufnahm und gemäß seinen physikalischen Anschauungen ihr eine reale Unterlage gab. Nach Aristoteles waren alle diese ineinander gelagerten Kugeln, die sich wechselseitig ihre Drehungen mitteilten, wirkliche Kristallsphären. Das Himmelsgewölbe bestand tatsächlich aus einer bestimmten Anzahl derartiger rindenartig ineinander liegenden Sphären von verschiedenem Drehungssinn und verschiedener Drehungsgeschwindigkeit, von denen einzelne die Himmelskörper trugen und deren äußerste, als Sphäre der Fixsterne, den Bewegungsantrieb für alle anderen, das primum mobile, wie Aristoteles sie nennt, abgab.

Während aber Eudoxus und Kallippus die Bewegungen der einzelnen Sphären als unabhängig voneinander sich vollziehend ansahen, d. h. annahmen, daß die fünf Sphären des Mondes, die dessen eigentümlichen Lauf am Himmel verursachen in ihren Bewegungen ganz unabhängig seien von denen der Sonne, und diese ebenso von denen der Venus usw., nahm Aristoteles dagegen daran Anstoß. In seinem physikalischen Darstellungsversuch waren solche für sich existierende und unabhängig voneinander bewegte Sphären unmöglich. Vielmehr mußte jede äußere alle in ihr gelegenen inneren mit sich fortbewegen, wie eben die Fixsternsphäre alle anderen mit sich fortreißt. Die Folge davon ist, daß nur die Bewegung des Saturn, als des entferntesten Planeten, durch die Eudoxische Theorie richtig dargestellt wird, die jedes anderen der Erde näheren Planeten aber dadurch, daß seine Sphären auch an der Bewegung der entfernteren teilnehmen, ganz unregelmäßig verlaufen muß. Es brauchte daher Vorrichtungen, durch welche der Einfluß der äußeren auf die in ihnen gelegenen inneren Sphären rückgängig gemacht wird. Aristoteles findet sie in einer entsprechenden Anzahl neuer Sphären, die er, weil sie der Bewegung aller sie einschließenden äußeren entgegenwirken sollen, reagierende nennt.

Das Weltbild des Aristoteles ist darnach das folgende: Die erste äußerste Sphäre des Himmelsgewölbes ist die der Fixsterne. Sie dreht sich binnen eines Tages um die Weltachse und schließt als nächste die vier Sphären des Saturn ein, die dessen eigentümliche Bewegung am Himmel hervorrufen. Nun sollten die vier Sphären des Jupiter kommen. Da sich aber die Drehungen der Saturnsphären auch diesen mitteilen würden, so müßten hier vorerst reagierende Sphären, und zwar drei an der Zahl, zwischengeschaltet werden, die erst die Bewegungen der Saturnsphären aufheben und den Standpunkt wiederherstellen, als ob nur die Fixsternsphäre oder das primum mobile da wäre. Dann erst sind die vier den Jupiter tragenden Kugeln anzunehmen, hierauf wieder drei reagierende, die die Drehungen jener rückgängig machen usf. bis zu den fünf innersten Sphären des Mondes, nach denen man keine reagierende Sphären mehr braucht. Im ganzen waren daher

für den Saturn	4	revolvierende	und	3	reagierende
„ den Jupiter	4	„	„	3	„
„ den Mars	5	„	„	4	„

für die Venus 5 revolvierende und 4 reagierende
„ den Merkur 5 „ „ 4 „
„ die Sonne 5 „ „ 4 „
„ den Mond 5 „ „ — „

d. h. 33 revolvierende und 22 reagierende oder rückwirkende Sphären zur Erklärung der Planetenbewegungen notwendig, wozu noch die Fixsternsphäre als das primum mobile kam. Das Himmelsgewölbe erschien so als aus 56 konzentrisch ineinander gelagerten Sphären zusammengesetzt, die durch ihr gruppenweise gegliedertes, harmonisches Zusammenwirken die Mannigfaltigkeit in den Bewegungen der einzelnen Planeten, ihre tägliche, ihre recht- und rückläufige Bahn am Himmel und ihre zeitweiligen Stillstände erzeugten.

Die Theorie des Eudoxus hielt sich, so sehr sie auch den damals bekannten Bewegungserscheinungen der Planeten gerecht wurde, nicht lange. Etwa nur ein Jahrhundert bis in die Lebenszeit des Archimedes. Es gab zu viele andere Erscheinungen an den Planeten, die ihr direkt zu widersprechen schienen, als daß man sie für vollständig richtig halten konnte. Namentlich schien es, daß die Distanzen der Planeten von der Erde nicht immer die gleichen blieben, wie es nach der Eudoxischen Theorie sein müßte, nach der sie sich auf konzentrischen Kugeln bewegen. Dies zeigte sich ebenso an den Helligkeitsunterschieden, die die Planeten Mars und Venus in ihren verschiedenen Stellungen zur Erde, d. i. unter den verschiedenen Sichtbarkeitsverhältnissen selbst schon bei Beobachtung mit freiem, unbewaffnetem Auge boten, wie auch an der Tatsache, daß es neben totalen auch ringförmige Sonnenfinsternisse gibt, d. h., daß der Mond, von der Erde aus gesehen, manchmal die ganze Sonnenscheibe konzentrisch, manchmal aber nur einen ringförmigen Teil von ihr bedeckt. In der Erklärung dieser Erscheinungen, die eine Variabilität der Entfernung der Planeten von der Erde fordern, versagte diese sonst so scharfsinnig konstruierte Lehre des Eudox. Dazu kam vielleicht noch als zweiter Umstand der, daß sie durch die Korrektion, die Aristoteles mit ihr vornahm, ihre relative Einfachheit und damit auch ihre Wertschätzung verlor.

Mehr Glück als mit diesem eigentümlichen Weltbilde hatte Aristoteles mit seinen anderweitigen kosmischen Anschauungen. Gerade diese sind es bekanntlich, die auf die weitere Ent-

wickelung der Astronomie von maßgebendem Einfluße wurden und eine solche autoritative Geltung erlangten, daß niemand es auch nur wagte und wagen durfte, an ihrer Richtigkeit und Wahrheit zu zweifeln, die aber andererseits, sowie sie schon im Altertume der geozentrischen Lehre gegen alle bereits damals unternommenen Versuche einer Durchführung der heliozentrischen Weltauschauung zum Siege verhalfen, auch späterhin sich der Fortentwickelung der Astronomie in dieser Richtung hindernd in den Weg stellten.

Das Wesen dieser Ansichten des Aristoteles besteht in zwei Lehren, 1. in der Lehre von den Elementen und damit im Zusammenhang in der Teilung des ganzen Weltalls in zwei wesentlich voneinander getrennte Systeme, den Himmel als das Reich des Äthers und die Erde als das Reich der irdischen vergänglichen Elemente und 2. in der Lehre von den in diesen zwei Systemen nur möglichen Bewegungen. Unter einem Elemente versteht Aristoteles einen in den Körpern enthaltenen Stoff, der nicht mehr in andere Stoffe aufgelöst werden kann. Es gibt vier Elemente, aus denen sich die sämtlichen irdischen Körper zusammensetzen, und über diesen als fünftes Element, als quinta essentia (daher der Ausdruck „Quintessenz“), der Äther, der Stoff, aus dem sich die Himmelskörper bilden. Die Erde, auf welcher die vier Elemente herrschen, ist die Welt der ewig wechselnden Mannigfaltigkeit, die Welt des fortwährenden Kommens und Schwindens, des ewigen Wachsens und Vergehens, der Himmel dagegen, in dem nur der Äther sich befindet, der Sitz der Vollkommenheit, Unveränderlichkeit und Wandellosigkeit. Die Gestalt, welche das ganze Weltall besitzt, ist die der Kugel, und die Erde als das schwerste unter den Elementen, nimmt die Mitte derselben ein. Es kann daher für die Astronomie nur einen Standpunkt geben, den geozentrischen, der sagt, daß die Erde im Mittelpunkte des Alls, am weitesten von dem bewegenden Prinzipe entfernt, liegt. Der Erde angrenzend ist das Wasser, dann kommt die Luft. Das leichteste Element ist das Feuer und sein Ort ist der Raum von der Erde bis zum Monde, angrenzend dem Äther. In diesem befinden sich nur die Fixsterne als die vollkommensten Himmelskörper und als leidenlose, nie alternde Wesen. Sie bestehen aus reinem Äther und sind von den vier irdischen Elementen genügend weit entfernt, um deren zerstörendem Einflusse nicht aus-

gesetzt zu sein. Die Planeten aber und Sonne und Mond bestehen wohl ebenfalls aus Äther, allein sie stehen schon teilweise unter dem Einflusse der vier vergänglichen irdischen Elemente.

Ebenso wie das ganze Weltall in zwei streng voneinander sich scheidende Teile zerfällt, gibt es auch nur zwei Grundformen der Bewegung, eine vollkommene, d. i. kreisförmige und gleichmäßige, und eine unvollkommene, d. i. die geradlinige. Die erstere zeigt sich am reinsten in dem ewig andauernden täglichen Umschwung der Fixsternsphäre um die Erde, weniger rein (und hierin macht sich der Einfluß der irdischen Elemente bemerkbar) in den verwickelten, teilweise schief gerichteten, teilweise ungleichmäßigen Bahnen der Planeten um die Erde. Die zweite ist die Bewegung von oben nach unten oder zum Mittelpunkt der Erde hin. Eine andere Bewegung als diese haben die Körper von Natur aus nicht, sondern jede solche kann ihnen nur durch Gewalt aufgezwungen werden, wird also nur vorübergehend sich erhalten und bald dem Streben nach unten weichen. Daher gibt es für die Astronomie auch in dieser Richtung nur einen Standpunkt, den, daß die Erde im Mittelpunkte des Weltalls nicht nur liegt, sondern auch in ihm ruht und keinerlei Bewegung hat. Denn jede Bewegung könnte ihr nur gewaltsam erteilt werden und müßte dann bald aufhören.

In diesen beiden Lehren von den Elementen und der Bewegung liegen die Beweise, die Aristoteles zur Begründung seines geozentrischen Standpunktes in der Astronomie anführt. Er polemisiert hierbei auch gegen die Pythagoräer. „Während die meisten“, sagt er da, „annehmen, daß die Erde in der Mitte des Alls ruhe, stellen die sogenannten Pythagoräer eine dem entgegengesetzte Anschauung auf. In die Mitte setzen sie das Feuer, die Erde aber bewege sich, wie irgend eines der anderen Gestirne, um die Mitte in einem Kreise und bewirke so den Wechsel von Tag und Nacht. Sie erdichten ferner noch eine andere Erde, die Gegenerde, indem sie Gründe und Ursachen nicht aus den beobachteten Erscheinungen ableiten, sondern indem sie die Erscheinungen mit ihren eigenen Ansichten und Voraussetzungen zu vereinen bestrebt sind und so in die Weltbildung einzugreifen suchen.“ Aber indem er so den Pythagoräern den Fehler vorwirft, daß sie die Erscheinungen nicht so sehr erklären, als vielmehr in ihr bestimmtes vor-

gefaßtes System hineinzwängen wollen, bedenkt er nicht, daß er selbst gleiche Fehler begeht, wenn er von vollkommenen Himmelskörpern spricht, ihnen nur vollkommene Bewegungen zuschreibt und als vollkommene Bewegungen nur die gleichmäßigen und kreisförmigen ansieht, ja daß er direkt in allen diesen Anschauungen unter dem Einfluße der Pythagoräer steht.

Zur Vervollständigung des Weltbildes des Aristoteles mögen hier in Kürze seine Ansichten über die Kometen, Meteore und Sternschnuppen Erwähnung finden. Daß die Griechen die Kometen gekannt haben, folgt aus einer Stelle im Homer, in der geschildert wird, wie die Göttin Athene vom Olympos herab zur Erde eilt, um die kämpfenden Griechen und Troer voneinander zu trennen:

> Stürmenden Schwungs entflog sie den Felsenhöhen des Olympos,
> Gleichwie ein Stern, gesendet vom Sohne des verborgenen Kronos,
> Schiffenden oder dem Heere gewaffneter Völker zum Zeichen
> Strahlend brennt und im Fluge unzählige Funken umhersprüht.
> Also senkt, hineilend zur Erde, sich Pallas Athene.

Aristoteles betrachtet die Kometen als atmosphärische Dünste, die aus der Erde aufsteigen, sich von den der Erde entströmenden Wasserdünsten dadurch unterscheiden, daß sie heiß und trocken sind, daher in die oberste Luftregion geraten, wo der rasche Umschwung sie erfaßt, fortführt, zusammenballt und verdichtet. Die rasche Bewegung und vielleicht auch die Nähe der Feuerregion der Sonne und der übrigen Gestirne läßt sie in Brand geraten, so daß sie als Kometen den Menschen sichtbar werden. Andere Dünste steigen fortwährend nach, vereinigen sich mit dem Kometen, unterhalten und verstärken seinen Brand. Endlich ist die Erde erschöpft, sie bietet dem Kometen keine Nahrung mehr und so verlischt er nach und nach.

Die Erscheinung einer im Jahre 476 v. Chr. bei Aigos Potamoi in Thessalien niedergegangenen großen Feuerkugel bot ebenso Aristoteles Gelegenheit, sich über das Wesen der Meteore und Sternschnuppen auszusprechen. Er betrachtet sie wie die Kometen als Produkte der Atmospäre der Erde.

§ 15. Mit dem Tode des Aristoteles endigt die klassische Periode der Philosophie der Griechen und beginnt eine ganz

neue Epoche ihrer wissenschaftlichen Tätigkeit, die nach ihrem neuen Hauptsitz als die der alexandrinischen Schule bezeichnet wird. Eingeleitet wurde diese Epoche durch den Eroberungszug Alexanders des Großen und das durch ihn gegründete Reich, das sich über drei Weltteile erstreckte. Wohl zerfiel das Reich, kaum gegründet, bald nach dem Tode Alexanders. Aber seine Feldheren, die es als willkommene Beute betrachteten, es unter sich teilten und eine Menge kleinerer und größerer Staaten von kürzerer und längerer Lebensdauer aus ihm entstehen ließen, folgten, was die Förderung der Wissenschaft anlangt, dem Beispiele Alexanders. Nach dessen Plane sollten ja das uralte Babylon in Asien und die neugegründete Stadt Alexandria in Ägypten neben Athen, als dem alten Wissenschafts- und Kulturzentrum in Europa, die beiden Hauptstätten des neuen Weltreiches in politischer wie in wissenschaftlicher Richtung werden, und aus ihnen die griechische Wissenschaft durch innigere Verbindung mit babylonischem und ägyptischem Wissen zu neuer Blüte emporwachsen. Unter allen den kleineren Staaten, die aus dem großen Reiche Alexanders entstanden, glänzte jedoch am meisten der Hof der Ptolemäer, der Könige von Ägypten, in Alexandria. Babylon verfiel immer mehr und mehr. An seiner Stelle wurde Alexandrien der Sammelplatz der Männer der Wissenschaft und die dort von den Ptolemäern gegründete Bibliothek die Heimstätte der gelehrten Forschung, der Sitz der Wissenschaften, der Mittelpunkt, zu dem alles strömte, was nur irgend ein wissenschaftliches Interesse hatte. Neben der reinen Mathematik und der Mechanik wurde die Astronomie am meisten gepflegt. Doch nicht mehr in phantastischen Spekulationen und mystischen Ideen suchte sie ihr Ziel zu erreichen, vielmehr betrat sie von nun an den Weg der reinen Empirie, d. h. in der Astronomie den Weg des eifrigen und aufmerksamen, zielbewußten Beobachtens.

Schon der erste Astronom, der uns hier begegnet, Aristarch von Samos, erregt unser besonderes Interesse. Sein Name wurde schon früher erwähnt (S. 32) als einer jener Männer, die als Begründer oder Anhänger des heliozentrischen Systems im Altertum zu gelten haben, vielleicht als derjenige, welcher diese Lehre am klarsten und bestimmtesten aussprach. Von ihm rührt andererseits noch der erste Versuch her, in die Tiefe des Himmels zu dringen, d. h. auf rein geometrischem Wege die

Entfernungen von Sonne und Mond von der Erde und deren Größen zu bestimmen. Seine Methode genoß durch zwei Jahrtausende hohen Ruf. Selbst Keppler wendet sie noch an. Ebenso war auch die von ihm aus den Beobachtungen gefundene Zahl „19" für das Verhältnis, wie vielmal die Entfernung der Sonne von der Erde größer ist als die des Mondes von ihr, bis auf Keppler die Grundlage für alle astronomischen Distanzbestimmungen.

Schon von den Pythagoräern rühren wohl Versuche her, die Distanz der Himmelskörper von der Erde zu bestimmen. Aber diese beruhten nicht auf geometrischen Entwickelungen und Berechnungen, sondern waren nur Schätzungen oder Zahlenspielereien. So nimmt Philolaus in seinem merkwürdigen Weltsystem die Distanzen der Himmelskörper als in geometrischer Progression wachsend an, so daß die Entfernung des nächstfolgenden stets dreimal so groß ist als die des näheren. Setzt man daher den Radius des Zentralfeuers = 1, so wird der Radius des Kreises, den die Gegenerde beschreibt = 3, der der Erdbahn = 9, der der Mondbahn = 27 usw. bis zum Radius der Fixsternsphäre, dessen Größe 59 049 mal so groß als der Radius des Zentralfeuers sich ergibt. Doch ist unbekannt, wie groß Philolaus diesen Radius selbst annahm. Andererseits berichtet Plinius, daß die Pythagoräer die Distanzen der Himmelskörper nach Tönen abgeschätzt haben, wohl in Anlehnung der musikalischen Eigenschaften der Zahlen an die Harmonie der musikalischen Töne, deren Beziehungen zu den Zahlen von Pythagoras selbst entdeckt worden sein sollen. Darnach sind die Distanzen

Erde — Mond	= 1	Ton
Mond — Merkur	= 1/2	"
Merkur — Venus	= 1/2	"
Venus — Sonne	= 1 1/2	"
Sonne — Mars	= 1	"
Mars — Jupiter	= 1/2	"
Jupiter — Saturn	= 1/2	"
Saturn — Fixsternsphäre	= 1 1/2	"

Wie groß hier ein Ton anzunehmen ist, ist ebenso unbekannt wie im System des Philolaus der Radius des Zentralfeuers. Ebensowenig ist zu begreifen, wie in der erwähnten Reihenfolge der Töne eine Harmonie liegen soll. Trotzdem

wurden ähnliche Lehren und Ansichten noch lange, ja Jahrtausende später begünstigt. Plato huldigt ihnen, ebenso Cicero und noch Keppler fußt in seinem Erstlingswerk, dem Mysterium Kosmographicum, auf ganz analogen Ideen. „Der Weltenbau“, sagt er, „ist von einem intelligenten Wesen geplant und ausgeführt, das seine größte Freude hat an mathematisch ausdrückbaren einfachen Zahlenverhältnissen.“

Aristarch geht, um zu finden, wie vielmal die Sonne weiter von der Erde entfernt ist als der Mond, von dem Gedanken aus, daß in dem Momente, wo vom Monde nur ein Viertel zu sehen ist, d. h. wo er genau halbiert erscheint, die von der Sonne nach dem Monde gezogenen Lichtstrahlen mit

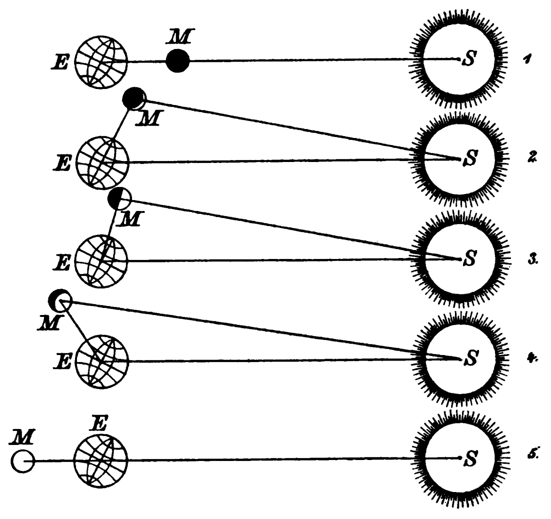


Fig. 4. Die Lichtgestalten des Mondes (3 entspricht der Dichotomie).

den von der Erde aus nach ihm gelegten einen rechten Winkel einschließen, oder mit anderen Worten, daß in dem Momente der Dichotomie oder Halbierung des Mondes die drei Punkte: die Mittelpunkte der Erde, des Mondes und der Sonne die Ecken eines rechtwinkligen Dreiecks bilden. Um in diesem Dreieck das Verhältnis der Hypotenuse zur Kathete zu bestimmen, genügt die Kenntnis eines Winkels, die durch direkte Messung am Himmel zu erlangen ist. In der Tat gibt Aristarch als den Winkelabstand von

Sonne zum Mond, d. h. als den Winkel *MES* 87° an und erhält so ein rechtwinkliges Dreieck mit den Winkeln 90°, 87° und 3°, aus dem für Kenner der Trigonometrie in einfacher Weise, für ihn nach einem schwierigen geometrischen Näherungsverfahren das Resultat folgt: „Die Entfernung Sonne — Erde ist weniger als 20, aber mehr als 18mal, daher im Mittel 19mal so groß als die Distanz Mond — Erde."

Die Zahl „19", die Aristarch findet, weicht von der Wahrheit, 384, sehr bedeutend ab. Dieses stark fehlerhafte Resultat ist dem Umstande zuzuschreiben, daß man die genaue Zeit der Dichotomie des Mondes nur sehr ungenau bestimmen kann und daß ein Irrtum von nur einigen Minuten den Winkel am Erdort, *MES*, bedeutend ändert. Die wirkliche Größe dieses Winkels ist neueren Berechnungen entsprechend 89° 50′ und daher der Winkel bei *S* nicht 3°, sondern bloß 10′, so daß das Dreieck, *MES*, die Winkel 90°, 89° 50′ und 10′ hat. Trotzdem blieb die Zahl „19" durch fast zwei Jahrtausende geltend. Ptolemäus, das ganze Mittelalter benutzten sie und erst Keppler wagte es, Zweifel gegen ihre Richtigkeit zu erheben. Auf seinen Wunsch hin, wenn auch erst lange nach seinem Tode beobachtete Wendelin im Jahre 1650 auf der Insel Majorka eine Dichotomie und fand im Mittel aus mehreren Beobachtungen für den Winkelabstand, *MES*, den Wert 89° 45′. Aus diesem folgt für das Verhältnis der Distanzen die Zahl „229".

Das Aristarchsche Problem enthält zwei Unbekannte, die beiden Distanzen Sonne — Erde und Mond — Erde, deren Verhältnis durch die Dichotomie bestimmt wird. Um ihre absoluten Werte zu finden, ist die Aufstellung einer zweiten Gleichung notwendig. Aristarch findet sie in gewissen Erscheinungen, die bei Sonnen- und Mondfinsternissen eintreten. Nach dieser Richtung wurde jedoch das Aristarchsche Verfahren nicht weiter anerkannt. Erst Hipparch ging in einer etwas anderen Art auf die bei Finsternissen auftretenden Verhältnisse ein und die von ihm aufgestellte Beziehungsgleichung erfreute sich wie die erste Aristarchsche Gleichung einer gleichen, fast zwei Jahrtausende lang dauernden unbestrittenen Anerkennung.

Die Werte, die Aristarch für die Distanzen und dann auch für die Größen von Sonne und Mond findet, sind:

Distanz Mond—Erde	= 74	Erdradien	(60)
Distanz Sonne—Erde	= 1400	"	(23400)
Radius des Mondes	= $^1/_3$	"	($^{10}/_{37}$)
Radius der Sonne	= $6\,^1/_3$	"	(109)

Die in Klammern nebenstehenden Zahlen geben jene Werte ab, die den neuen Beobachtungsergebnissen entsprechen und heute als die richtigsten angesehen werden. Wie ein Vergleich der beiden Zahlengruppen zeigt, ist die Übereinstimmung für den Mond keine gar zu schlechte, für die Sonne aber eine äußerst fehlerhafte. Der Grund hiervon liegt hauptsächlich in der falschen Verhältniszahl 19 zwischen den Distanzen von Sonne und Mond zur Erde. Hätte Aristarch statt „19" eine andere größere Zahl seinen Rechnungen zugrunde gelegt, so wären die Zahlenwerte für den Mond etwas kleiner, die für die Sonne bedeutend größer geworden. Die erzielte Annäherung wäre damit eine bessere.

Immerhin ist dieser erste Versuch, auf Grund geometrischer Entwickelungen und speziell zu diesem Zwecke angestellter Beobachtungen die Tiefe des Himmels zu ergründen, eine Tat von kulturhistorischer Bedeutung. Sie sichert Aristarch unter allen Umständen eine führende Rolle unter den Astronomen des Altertums.

§ 16. Die zweite dieser Epoche angehörende bedeutungsvolle Tat ist die Erdmessung des Eratosthenes, des Bibliothekars der großen alexandrinischen Bibliothek. Sie wurde ausgeführt nach Prinzipien, die, wie schon erwähnt, auf Archytas von Tarent, den Freund Platos, zurückreichen, aber wie hervorgehoben werden muß, auf Grundlage zielbewußter, speziell zu diesem Zwecke angestellter und nicht zufälliger Beobachtungen. Eratosthenes beobachtete mit einem Gnomon, d. i. einem schattenwerfenden Stabe. Er fand, daß zur Zeit der Sommersonnenwende ein Gnomon, in Syene im südlichen Ägypten aufgestellt, um die Mittagsstunde genau schattenlos sei, daß er dagegen um dieselbe Zeit in Alexandria einen Schatten werfe von einer Länge, der einem Winkel von der Größe = $^1/_{50}$ des Umfanges des ganzen Meridians entspricht. Daraus folgt, daß in den angegebenen Momenten in Syene die Sonne genau im Zenit stehe, in Alexandria aber vom Zenit um einen Winkel abweiche, der $^1/_{50}$ des ganzen durch Alexandria gehenden größten Kugelkreises auf der Erde gleich ist. Bedeuten in der nebenstehenden Figur

die Pfeile die Richtung der auf die Erde fallenden, als parallel anzunehmenden Sonnenstrahlen, natürlich für den Moment, auf welchen sich die Beobachtungen des Eratosthenes beziehen, d. i. um die Mittagsstunde zur Zeit der Sommersonnenwende, so sagen die von ihm gefundenen Resultate, daß Syene (S) so liegt, daß die Sonnenstrahlen gerade in der Richtung zum Erdmittelpunkte die Stadt treffen, ein dort vertikal aufgestellter Stab daher keinen Schatten zeigt, daß dagegen dieselben Sonnenstrahlen die Stadt Alexandrien (A) in einer Richtung treffen, die mit der vertikalen in A, d. i. der Richtung zum Erdmittelpunkte AO einen Winkel α einschließt, welcher $^1/_{50}$ des ganzen Kreises gleich ist, daß daher ein dort aufgestellter Gnomon einen diesem Winkel entsprechenden Schatten wirft. Da nun wegen des Parallelismus der Sonnenstrahlen der Winkel α auch gleich ist dem Winkel β im Erdmittelpunkte, welcher wiederum gleich ist dem Bogen AS, so ist dieser gleich $^1/_{50}$ des ganzen Erdumfanges oder der Erdumfang ist 50mal so groß als der Bogen AS, d. i. die Entfernung der beiden Städte Syene und Alexandria. Für letztere berechnet Eratosthenes aus den Angaben der Beamten, die für die Vermessung der Ländereien in Ägypten zu sorgen hatten, eine Strecke von 5000 Stadien. Daher folgt für den ganzen Erdumfang die Zahl von 50 mal 5000 = 250000 Stadien, was, ein Stadium zu 185 m angenommen, im Metermaß ausgedrückt, 46250000 m oder 46 250 km gibt, einen Wert, der der Wahrheit, 40000 km, recht nahe kommt. Später wurde die Eratosthenische Zahl von 250 000 Stadien für den Erdumfang auf 252000 erhöht, um ihre Teilbarkeit durch 360 zu gewinnen, so daß die Länge eines Meridiangrades zu 252000 : 360 = 700 Stadien oder 129,5 km angenommen wurde.

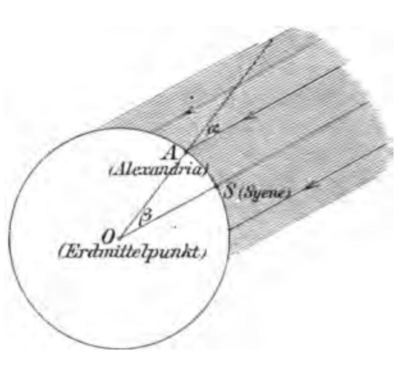


Fig. 5.
Die Erdmessung des Eratosthenes.

§ 17. Die dritte, ebenso wissenschaftlich wie kulturhistorisch

bedeutsame Tat dieses Zeitraums ist die erste Bestimmung der Orte der Fixsterne am Himmel und damit in Verbindung die erste Anlegung eines Sternkataloges, ausgeführt von den beiden Astronomen von Alexandria, Aristyll und Timocharis. Leider weiß man von diesen beiden Männern nichts mehr als nur diese eine Tatsache, daß sie einen Sternkatalog anlegten. Darüber, wie sie die Beobachtungen zu diesem Zwecke angestellt haben, lassen sich nur Vermutungen hegen. Sehr wahrscheinlich dürften sie das Verfahren eingeschlagen haben, daß sie von Monat zu Monat zunächst stets auf die Sterne achteten, welche eine Stunde nach Sonnenuntergang in der Abenddämmerung zu sehen waren und so Anhaltspunkte für eine Zwölfteilung der Ekliptik und damit für die Lage der Sterne in den 12 Zeichen des Tierkreises fanden. Diese Sterne bildeten Fixpunkte, mit denen sie dann die Positionen der Sterne außerhalb der Ekliptik nach dem Augenmaß verglichen und auf einem Sternglobus auftrugen. An die Genauigkeit der erzielten Resultate wird man wohl keine großen Ansprüche stellen dürfen. Aber die Tat an sich, als erster Versuch, die Zahl der am nächtlichen Himmel erstrahlenden Sterne zu registrieren und ihre Lage am Himmel zu fixieren, verdient unsere besondere Anerkennung.

§ 18. Diese drei Leistungen auf astronomischem Gebiete leiten die Blütezeit der griechischen Astronomie ein, eine Blütezeit, die sie unter Hipparch erlangte, dem bedeutendsten Astronomen des Altertums. Schon die alten Schriftsteller beehrten ihn mit dem Beinamen „des Großen“. Leider ist von den Lebensverhältnissen und Schicksalen dieses Mannes nichts mehr bekannt, als daß er in Nikäa in Bithynien geboren wurde, zumeist jedoch auf der Insel Rhodus lebte und arbeitete. Dies ist alles.

Was ihn vor allen seinen Vorgängern auszeichnet, ist das Bestreben, rein aus sorgfältig durchgeführten Beobachtungen die Erscheinungen am Himmel möglichst genau darzustellen und ihre Gesetze zu erschließen. Hierin steht er ganz auf dem Standpunkte eines modernen Astronomen. Nur in einer Richtung konnte er sich von den Anschauungen und vorgefaßten Meinungen seiner Lehrer in der Astronomie nicht frei machen, nämlich in der Annahme der Aristotelischen Ideen von der Vollkommenheit der Himmelskörper und der Vollkommenheit der Bewegungen, die sie am Himmel vollführen. Ihre Bahnen konnten und durften daher keine anderen sein als Kreise.

Auf Grund dieser von vornherein gleichsam als Axiom aufgestellten Hypothese suchte er sein Ziel zu erreichen.

Die Arbeiten Hipparchs bewegen sich nach drei Richtungen: 1. versuchte er eine geometrische Darstellung der Bewegung von Sonne und Mond, 2. vervollständigte er das Aristarchsche Verfahren zur Bestimmung der Distanzen von Sonne und Mond von der Erde und 3. legte er einen neuen Sternkatalog an und entdeckte dadurch die Präzession.

Was das erste Problem, die Theorie der Bewegung von Sonne, Mond und den Planeten anlangt, so stellte sich Hipparch auf den Standpunkt des Aristoteles. Er betrachtet die Erde als den ruhenden Zentralkörper des Weltalls, um den sich alle anderen Weltkörper in vorgeschriebenen Bahnen bewegen. Das Neue in seiner Theorie ist nur die Art der Erklärung der Ungleichheiten in diesen Bewegungen.

Speziell die Sonne betreffend war schon aus der Zeit von Meton und Kallippus neben ihrer täglichen und jährlichen Bewegung jene Ungleichheit bekannt, nach welcher die Zwischenzeit zwischen den Hauptmomenten der Bewegung, den zwei Momenten der Tag- und Nachtgleiche und denen der beiden Solstitien, nicht genau einander gleich seien, sondern daß durch sie das Jahr in vier ungleiche Teile geteilt werde. Durch aufmerksame und genaue Beobachtung dieser Momente unter gleichzeitiger Verwertung einer Beobachtung von Aristarch, die ihm zur Verfügung stand, fand Hipparch für diese Zwischenzeiten folgende Werte: Dauer des Frühlings $94\,^1/_2$ Tage, des Sommers $92\,^1/_2$, des Herbstes 88 und des Winters 90 Tage. Er erklärte diese Unregelmäßigkeit durch die Annahme einer exzentrischen Stellung der Erde innerhalb der Sonnenbahn. Damit ist die Vollkommenheit der Bewegung der Sonne als einer gleichförmigen und kreisförmigen gerettet und die vorhandene Anomalie nur als eine scheinbare nachgewiesen, hervorgerufen durch die exzentrische Stellung der Erde. Hipparch bestimmte durch Rechnung die Lage des Erdmittelpunktes gegen den Mittelpunkt der Sonnenbahn auf Grund der von ihm erfundenen Sehnenrechnung, jetzt Trigonometrie genannt. Es ist nicht schwer, diese Aufgabe rein konstruktiv, ohne Anwendung der Trigonometrie zu lösen und sich so von der Richtigkeit der Hipparchschen Zahlen zu überzeugen. Es sei zu diesem Zwecke in der nachstehenden Figur 6 der äußere Doppelkreis der Tierkreisgürtel

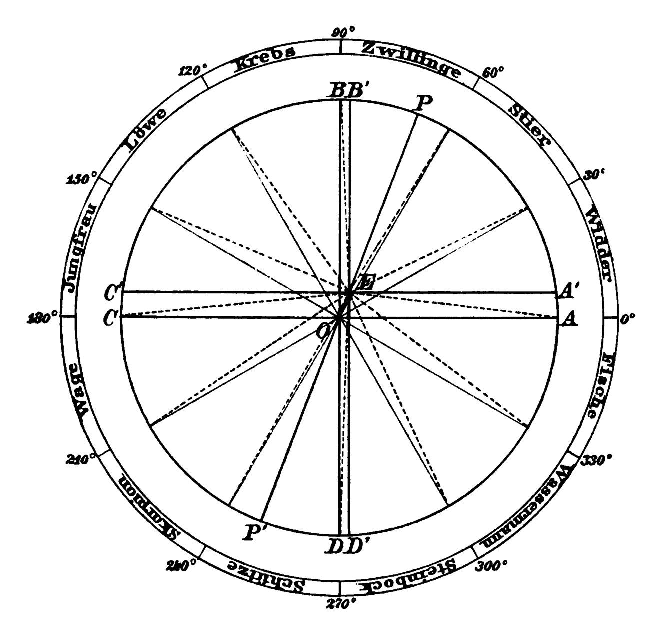


Fig. 6. Die Sonnentheorie Hipparchs.

der Fixsternsphäre, dessen Ebene mit der Ebene der Sonnenbahn zusammenfällt, und der innere Kreis die Sonnenbahn selbst. Der Punkt A stelle den Ort der Sonne zur Zeit des Frühlingsäquinoktiums vor. Bei gleichförmiger Bewegung ist dann die Sonne genau nach $^1/_4$ Jahr in B im Sommersolstitium, nach einem weiteren $^1/_4$ Jahr in C im Herbstäquinoktium und endlich noch einmal nach $^1/_4$ Jahr in D im Wintersolstitium. Dies ist die Grundlage der Hipparchschen Theorie, die das Axiom von der gleichförmigen Kreisbewegung der Sonne innerhalb des Tierkreises anerkennt. Wäre die Erde in O, so würde die Bewegung auch für die Beobachter auf der Erde gleichförmig bleiben, d. h. die Jahreszeiten wären von gleicher Dauer. Nun dauert die Sommerhälfte des Jahres vom Frühlings- bis zum Herbstäquinoktium 187 Tage, die Winterhälfte vom Herbst- bis zum Frühlingsäquinoktium 178 Tage und, da die Sonne in einem Tage $360^0 : 365{,}25 = 0^0\ 59',18$ zurücklegt, so

ist für die erstere Hälfte der Bogen $ABC = 187 \times 0^0$ $59',18 = 184^0\ 26'$, für die zweite Hälfte der Bogen CDA $= 178 \times 0^0\ 59',18 = 175^0\ 34'$ zu nehmen, d. h. so, als ob der Mittelpunkt der Erde nicht in O stünde, sondern in der Linie $C'A'$ die um den Bogen $\frac{1}{2}$ $(184^0\ 26'—180^0) =$ $\frac{1}{2}$ $(180^0—175^0\ 34') = 2^0\ 13'$ von A oder C gegen B hin verschoben ist. Es ist also die Linie $A'C'$ so zu zeichnen, daß die Bögen $AA' = CC' = 2^0\ 13'$ betragen. Ebenso ist die Zeit vom Sommersolstitium zu dem des Winters $184\,^1/_2$ Tage, die vom Wintersolstitiums zu dem des Sommers $180\,^1/_2$ Tage oder es beträgt der erstere Bogen $BCD = 184\frac{1}{2} \times 0^0\ 59' \cdot 18$ $= 181^0\ 58'$, der zweite DAB $180\frac{1}{2} \times 0^0\ 59' \cdot 18 = 178^0\ 2'$. Der erstere ist um $1^0\ 58'$ größer als 180^0, der zweite um $1^0\ 58'$ kleiner als 180^0, wie es der gleichen Teilung der Jahreslänge entsprechen würde. Man hat eine zweite Linie $B'D'$ zu zeichnen, die gegen den Durchmesser BD um die Bogen $BB' = DD' = \frac{1}{2} \cdot 1^0\ 58' = 0^0\ 59'$ verschoben ist. In dem Schnittpunkte beider Linien $A'C'$ und $B'D'$, d. i. im Punkte E hat man sich nun die Erde zu denken. Tatsächlich ist dann für einen Beobachter, der nunmehr in E anzunehmen ist,

1. die Länge des Frühjahrs, dargestellt durch den Winkel $AEB = 90^0 + 2^0\ 13' + 0^0\ 59' = 93^0\ 12'$ und die zur Zurücklegung desselben nötige Zeit $93^0\ 12' : 0^0\ 59',18$ $= 94,5$ Tage,

2. die Länge des Sommers, entsprechend dem Winkel BEC $= 90^0 + 2^0\ 13' — 0^0\ 59' = 91^0\ 14'$ und daraus seine Dauer $91^0\ 14' : 0^0\ 59',18 = 92,5$ Tage,

3. die Länge des Herbstes oder der Winkel $CED = 90^0$ $— 2^0\ 13' — 0^0\ 59' = 86^0\ 48'$ und seine Dauer $86^0\ 48 :$ $0^0\ 59',18 = 88$ Tage,

4. die Länge des Winters oder der Winkel $DEA =$ $90^0 — 2^0\ 13' + 0^0\ 59' = 88^0\ 46'$ mit einer Dauer von $88^0\ 46' : 0^0\ 59',18 = 90$ Tagen.

Damit ist der ungleichförmige Lauf der Sonne erklärt; die Ungleichheit als eine scheinbare dargestellt, denn tatsächlich sind von O aus gesehen, die Winkel AOB, BOC, COD und DOA alle gleich 90^0, erst von E aus betrachtet ungleich und genau der Dauer der Jahreszeiten entsprechend.

Für die Strecke EO, d. i. die Entfernung der Erde vom

wahren Mittelpunkte der Sonnenbahn, welche Größe Hipparch die Exzentrizität nennt, berechnet er den Wert

$$EO = \frac{1}{24} \cdot OP$$

d. i. $\frac{1}{24}$ des Radius der Sonnenbahn und eine genau ausgeführte Zeichnung würde dieses Resultat bestätigen. Die Linie PP′ ferner, die die Punkte O und E verbindet, nennt er die Apsidenlinie der Sonnenbahn, und in ihr den Punkt P das Perigäum oder die Erdnähe der Sonne und P′ das Apogäum oder die Erdferne. Für ihre Lage im Raume, d. h. zu den Sternen findet er als Winkelentfernung 66^0, vom Frühlingspunkte A an gerechnet, oder 6^0 im Zeichen der Zwillinge.

Aber Hipparch leistet noch mehr. Er zeigt, wie man aus der bekannten gleichförmigen Bewegung der Sonne um den Punkt O ihre ungleichförmige um den Punkt E berechnen kann und konstruiert Tafeln, denen man direkt die Differenz zwischen der gleichförmigen und ungleichförmigen Bewegung entnimmt und die darnach den Ort der Sonne am Himmel für jeden Tag des Jahres zu berechnen gestatten.

Ganz ähnlich verfährt Hipparch mit dem Monde. Von ihm kannte man, wahrscheinlich ebenfalls schon aus der Zeit von Meton und Kallippus neben seiner täglichen und monatlichen Bewegung jene Ungleichheit des monatlichen Laufes, die sich in den ungleichen Zwischenzeiten seiner vier Hauptphasen ausspricht. Ferner war schon aus uralten Zeiten die Sarosperiode bekannt, die sich durch eine Drehung der Knotenlinie der Mondbahn auf der Ekliptik erklären ließ. Dazu kam noch eine neue Unregelmäßigkeit, deren Entdeckung vielleicht Hipparch selbst zu verdanken ist. Diese besteht darin, daß die Orte am Himmel, in denen der Mond seine größte Geschwindigkeit in seiner Kreisbahn um die Erde hat, ebenso wie die, in denen er seine kleinste hat, nicht so wie bei der Sonne in den aufeinander folgenden Umläufen stets in gleichen Bildern des Tierkreises wiederkehren, sondern sich ebenso wie der Mond selbst zwischen den Sternbildern fortbewegen mit einer Geschwindigkeit, die bewirkt, daß diese Orte in der Zeit von 8 Jahren 305 Tagen den ganzen Tierkreis durchlaufen.

Der Erklärung der Bewegung des Mondes mit allen den erwähnten Anomalien wurde Hipparch in folgender Art gerecht: Der äußere Kreis in der nebenstehenden Figur stelle wie bei der

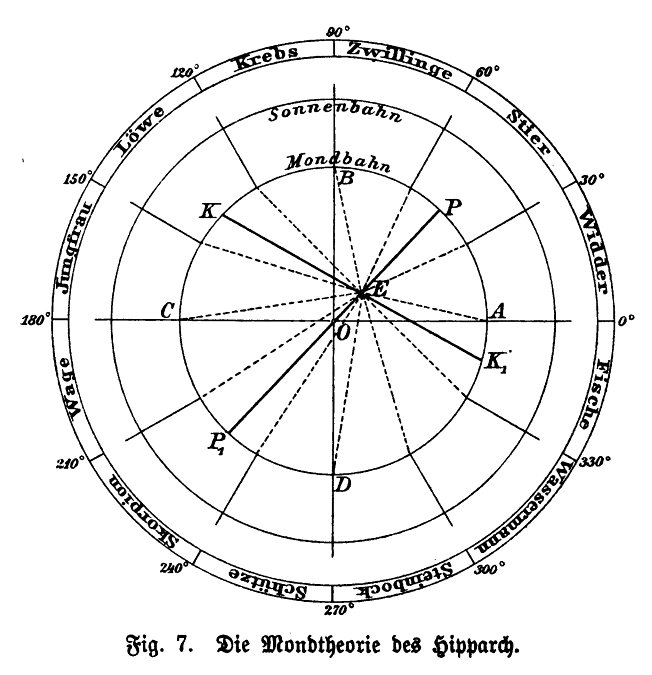


Fig. 7. Die Mondtheorie des Hipparch.

Sonnenbahn den Gürtel des Tierkreises vor, daran schließt sich der von der Sonne beschriebene Kreis an, dessen Ebene die Ekliptik ist. Der dritte, innere Kreis gibt die Mondbahn an, deren Ebene jedoch, wie bekannt, nicht mit der Ekliptik zusammenfällt, sondern mit ihr einen Winkel von 5° einschließt. Die Linie KK_1 sei die Schnitt- oder die Knotenlinie der beiden Ebenen. Zur Darstellung der ersten Ungleichheit der Mondbewegung wird wie bei der Sonne eine exzentrische Stellung der Erde zur Mondbahn angenommen und es sei die Linie PP_1 die Apsidenlinie. Der scheinbare Lauf des Mondes um die Erde, die in E und nicht im Mittelpunkte O der Mondbahn sich befindet, setzt sich daher zusammen:

1. Aus der gleichförmigen Bewegung des Mondes im Kreise PKP_1K_1, dessen Mittelpunkt O ist, derart, daß das Perigäum oder die Erdnähe in P, das Apogäum oder die Erdferne in P_1 liegt, und der Mond daher, von der Erde, E, aus

beobachtet, die sonst gleichen Bogen *AB*, *BC*, *CD* und *DA* in ungleichen Zeiten zurücklegt. Es sind nämlich wohl die Winkel *AOB*, *BOC*, *COD* und *DOA* einander gleich, nicht aber die Winkel *AEB*, *BEC*, *CED* und *DEA*. Dies ist die erste Ungleichheit.

2. Aus einer gleichförmigen Drehung der Knotenlinie KK_1 im entgegengesetzten Sinne zum Mondlaufe, die bewirkt, daß die Finsternisse nicht immer auf denselben Monat und denselben Tag des Monates fallen, sondern sich erst nach 18 Jahren 11 Tagen genau in derselben Reihenfolge wiederholen.

3. Aus einer gleichförmigen Drehung der Apsidenachse PP_1 in gleichem Sinne mit dem Mondlaufe und mit einer Umlaufszeit von 8 Jahren 305 Tagen, die bewirkt, daß die Orte der maximalen und minimalen Geschwindigkeit des Mondes nicht stets in die gleichen Sternbilder fallen, sondern sich in dieser Zeit längs des ganzen Tierkreises verschieben.

Man sieht, daß die Bewegung des Mondes eine ziemlich komplizierte ist, und daß es schon ganz bedeutender mathematischer Kenntnisse bedarf, um, wenn man für einen bestimmten Zeitpunkt, die Ausgangsepoche, den Ort des Mondes am Himmel kennt, seinen Ort für einen beliebigen späteren Zeitmoment zu berechnen. Hipparch zeigte sich dieser Aufgabe gewachsen, löste sie mit vielem Scharfsinn und konstruierte ebenso wie für die Sonne auch für den Mond Tafeln, denen man fast ohne jede weitere Rechnung den Ort des Mondes am Himmel für jede beliebige Zeit entnehmen konnte.

Hipparch versuchte es auch, sein Hilfsmittel der exzentrischen Stellung der Erde innerhalb der Fixsternsphäre zur Erklärung der Bewegung der Planeten mit ihren besonderen Unregelmäßigkeiten, den Schleifenbildungen, anzuwenden. Allein da versagte es und er mußte die Lösung dieses Problems späteren überlassen. Er selbst begnügte sich damit, recht zahlreiche Beobachtungen der Planeten anzustellen, die Perioden ihrer Stillstände, ihres Rück- und Vorwärtsschreitens genauer zu ermitteln und so seinen Erben ein zahlreiches und gutes Beobachtungsmaterial zu hinterlassen.

§ 19. Das zweite Problem, mit dem sich Hipparch befaßte, war das der Bestimmung der Entfernung von Sonne und Mond von der Erde. Den Ausgangspunkt bildete hiebei

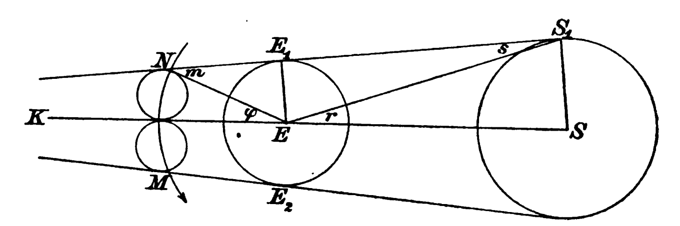


Fig. 8. Die Parallaxe von Sonne und Mond.

die Aristarchsche Verhältniszahl „19", welche sagt, daß die Sonne 19mal so weit entfernt ist von der Erde als der Mond. Die notwendige zweite Gleichung leitet er in folgender Weise ab: Er schloß zunächst aus Beobachtungen von Mondfinsternissen, daß die Breite des Erdschattens in der Distanz des Mondes zweimal so groß sei als der Mond selbst oder daß der Mond während einer totalen Finsternis zum Durchlaufen dieses Schattens doppelt so viel Zeit brauche als, um eine seiner eigenen Größe entsprechende Strecke am Himmel zurückzulegen. Ist (Figur 8) S der Mittelpunkt der Sonne, E der der Erde und KE_1E_2 der Schattenkegel, den die von der Sonne beleuchtete Erde wirft, ferner MN ein Teil der Mondbahn, so ist dieser Bogen an Größe zwei Mondscheiben gleich oder zwei Mondscheiben können an dieser Stelle den Schattenkegel ausfüllen. Daraus folgt, daß der Winkel KEN oder φ 40′ beträgt. Die mittlere Dauer einer totalen Mondesfinsternis ist nämlich $2\,{}^1/_2$ Stunden; in dieser Zeit legt der Mond, da er täglich 13° am Himmel vorrückt, 82′ zurück, d. h. der Winkel $2\,\varphi = 82'$, mithin $\varphi = 41'$. Andererseits ist, wie Messungen der scheinbaren Größe der Sonne zeigen, der Winkel $SES_1 = \mathrm{r} = 15'$ und bezeichnet man noch die kleinen Winkel bei S_1 und N mit s und m, so folgt aus dem Dreiecke S_1EN, daß

$$s + m = 180 - NES_1$$

ferner zeigt die Figur, daß auch

$$r + \varphi = 180 - NES_1$$

daher: $s + m = r + \varphi = 15' + 40' = 55'$
oder abgerundet $= 60'$.

Diese Gleichung stellt die neue von Hipparch aufgestellte Beziehung dar, welche für die Folge derselben Wertschätzung und Anerkennung sich erfreute, wie die Aristarchsche Zahl „19".

Die Winkel s und m, die in dieser Gleichung vorkommen, nennt Hipparch Parallaxenwinkel. Aus ihnen können in sehr einfacher Weise die Distanzen von Sonne und Mond bestimmt werden. Es ist nämlich, wenn man näherungsweise den Radius der Erde EE_1 einmal als Kreisbogen zum Radius S_1E ansieht,

$$EE_1 = s \,.\, S_1E$$

oder als Kreisbogen zum Radius NE

$$EE_1 = m \,.\, NE$$

und daher $s \,.\, S_1E = m \,.\, NE$

Da nun wieder näherungsweise $S_1E = SE$ gesetzt werden kann und dann die Distanz der Sonne von der Erde bedeutet, ebenso NE die Distanz des Mondes von der Erde vorstellt, nach Aristarch aber $S_1E = 19 \cdot NE$ ist, so ergibt sich schließlich $m = 19\,s$

als Aristarchsche und, wie oben bewiesen wurde,

$$m + s = 60$$

als Hipparchsche Beziehungsgleichung. Die Auflösung dieser zwei Gleichungen mit den beiden Unbekannten s und m liefert die Werte $m = 57'$ $s = 3'$

und aus ihnen erhält man

SE	= Entfernung Sonne—Erde	= 1150	Erdhalbm.	(23 500)
ME	= „ Mond—Erde	= 60	„	(60)
SS_1	= Halbmesser der Sonne	= 5,5	„	(109)
MM_1	= „ des Mondes	= $^1/_3$	„	($^{10}/_{37}$)

Zahlen, die bei der Annahme, daß der Erdhalbmesser 6380 km beträgt, leicht in Kilometer umgesetzt werden können. Die in Klammern nebenstehenden Zahlen bedeuten die Werte, die heute als die richtigsten angesehen werden. Man erkennt, daß für den Mond die Übereinstimmung eine ganz stattliche, für die Sonne dagegen noch eine sehr wenig zureichende ist.

§ 20. Die dritte bedeutsame Leistung, die die Astronomie Hipparch verdankt, ist die Anlegung eines neuen Sternkatalogs. Die Veranlassung dazu soll, wie Plinius erzählt, das Aufleuchten eines neuen Sterns am Himmel gegeben haben. Neu ist in dem Katalog die Darstellung der Lage der Sterne am Himmel oder ihrer Koordinaten nach Länge und Breite. Unter Länge eines Sternes versteht hierbei Hipparch seine Winkelentfernung vom Frühlingspunkte, d. i. dem Punkte, in dem sich die Sonne am 21. März zur Zeit des Frühlingsäquinoktiums befindet, diese Winkeldistanz in der Ekliptik gemessen; unter Breite eines

Sternes seinen Winkelabstand oder seine Höhe über oder seine Tiefe unter der Ekliptik. Neu ist ferner in dem Katalog die Einteilung der Sterne nach Größenklassen, die noch heute üblich ist. Die hellsten Sterne heißen Sterne erster Klasse, dann kommen solche zweiter, dritter bis zur sechsten Klasse, die solche Sterne umfaßt, die gerade noch mit freiem Auge nachts am dunklen Himmelsgrunde wahrnehmbar sind. Die Zahl der Sterne im Katalog beträgt 1022.

Bei der Vergleichung der von Hipparch beobachteten Positionen der Sterne mit denen, die 150 Jahre früher Aristyll und Timocharis in ihrem Sternkatalog veröffentlicht hatten, zeigte sich, daß alle Längen der Sterne eine fast gleichmäßige Zunahme erfahren haben ohne Änderung ihrer Breite, und daß diese Zunahme in der ganzen Zwischenzeit von 150 Jahren etwa $1\,{}^1/_2{}^0$, also für 100 Jahre 1^0 und in einem Jahre 36″ betrage. Hipparch erklärte sofort diese neuentdeckte Tatsache durch eine Bewegung des Frühlingspunktes längs der Ekliptik von gleichem Betrage, durch welche Verschiebung die Längen der Sterne in gleichem Maße zunehmen müssen, ohne daß ihre Breite sich ändert. Er nannte diese Erscheinung die Präzession des Frühlingspunktes. Gleichzeitig nötigte ihn diese Entdeckung, zwischen dem tropischen Jahre und dem siderischen Jahre zu unterscheiden, während man vorher nur ein Jahr schlechtweg kannte. Das tropische Jahr ist die Dauer eines Sonnenumlaufs von Frühlingspunkt zu Frühlingspunkt, d. i. von einem Frühlingsäquinoktium zum nächsten (die Präzession hierbei einbezogen) und, da von dieser Dauer die Jahreszeiten abhängen, lag ihm ihre Bestimmung mehr am Herzen als die des siderischen Jahres, als der Zeit der Rückkehr der Sonne zu demselben Stern am Himmel oder zum Frühlingspunkt ohne Rücksicht auf dessen Verschiebung in der Ekliptik, d. h. ohne Rücksicht auf die Präzession. Er fand, daß das Sommersolstitium des Jahres 134 v. Chr. um einen halben Tag früher eintraf, als er es aus einer Beobachtung des Aristarch aus dem Jahre 281 v. Chr., also 147 Jahre früher mit einer Jahresdauer von $365\,{}^1/_4$ Tagen erhalten hatte, und zog daraus den richtigen Schluß, daß das tropische Jahr um den $\frac{1}{147}$. Teil eines halben Tages, d. i. abgerundet um etwa 5 Minuten kürzer sei als $365\,{}^1/_4$ Tage und daher nur $365^d\ 5^h\ 55^m$ betrage. Die Genauigkeit dieses Resultats reicht an die Genauigkeit der neuesten Bestimmungen des tropischen Jahres heran, nach denen diese Dauer $365^d\ 5^h\ 48^m\ 46^s$

ist. Das siderische Jahr ist um die Zeit, die die Sonne braucht, um eine der Verschiebung des Frühlingspunktes von 36″ im Jahre entsprechende Strecke zurückzulegen, d. i. um etwa 15^m größer und beträgt daher $365^d\ 6^h\ 10^m$. Nach neueren Beobachtungen ist es $365^d\ 6^h\ 9^m\ 10^s,75$.

Um der vollen wissenschaftlichen Bedeutung Hipparchs gerecht zu werden, soll neben seinen glänzenden Leistungen auf astronomischem Gebiete nicht seine Tätigkeit in anderen Wissenschaften unerwähnt bleiben. Die Mathematik verdankt ihm die Begründung der Trigonometrie, oder, wie sie damals hieß, der Sehnenrechnung, ferner die konsequente Durchführung der Teilung des Kreises in 360 Grade mit den Unterabteilungen minutae primae und minutae secundae, aus denen der Sprachgebrauch Minuten und Sekunden machte. Eratosthenes spricht noch von $\frac{1}{50}$ des Kreisumfanges, um einen entsprechenden Winkel seiner Größe nach festzustellen. Erst Hipparch hätte statt dessen $360^0 : 50 = 7^0\ 12'$ gesagt. Der Geographie erwies er einen wesentlichen Dienst durch Einführung der Begriffe „geographische Länge und Breite“, die er auch auf den Himmel zur Fixierung der Lage eines Sternes übertrug. Diese Bezeichnung wählte er deshalb, weil zur Darstellung der damals bekannten Länder eine Erdkarte in Form eiues Rechteckes von bestimmter Länge und Breite genügte. Die Ermittelung der geographischen Breite eines Ortes auf der Erde machte keine großen Schwierigkeiten. Es galt nnr einen Gnomon aufzustellen und die Länge des Schattens zu messen, den er um die Mittagsstnnde zur Zeit der Äquinoktien warf. Mehr Schwierigkeit bot die Bestimmung der geographischen Länge. Hipparch nahm als Nullmeridian, von dem aus die Zählung der Längengrade vorgenommen wurde, den Meridian von Rhodus an und schlug zu genaueren Längenbestimmungen vor, den Eintritt einer Mondesfinsternis von verschiedenen Orten aus zu beobachten und den Längenunterschied durch den Zeitunterschied in dem beobachteten Eintritt der Finsternis darzustellen. Er entwarf eine Tafel, in der für die 90 Grade der Parallelkreise vom Äquator zum Nordpol alle auf die Veränderung des Horizontes beruhenden Himmelserscheinungen, wie die verschiedenen Sonnenhöhen, Tageslängen usw. berechnet waren und spricht den Wunsch aus, daß sich Freunde der Astronomie und Geographie Mühe geben mögen, Beobachtungen über die geographische Breite von ihnen zu-

gänglichen Orten der Erde zu sammeln, diese in die Tafel einzutragen, um so endlich eine rein auf astronomischen Beobachtungen basierende Erdkarte zu erlangen. „Eine solche Verbindung der Erd- mit der Himmelskunde“, sagt Humboldt bei der Schilderung der Leistungen Hipparchs, „der Reflex der einen auf die andere, war geeignet, wie durch einigende Vermittelung die große Idee des Kosmos zu beleben.“

§ 21. Das Erbe, welches Hipparch hinterließ, trat erst 300 Jahre später Ptolemäus an, der letzte unter den bedeutenderen Astronomen der Alexandrinischen Schule. Von den Lebensschicksalen dieses Mannes ist nichts weiter bekannt, als daß er im Jahre 87 n. Chr. in Ägypten geboren wurde, zumeist in Alexandria lebte und 165 n. Chr. daselbst starb. Um so vollständiger sind seine Schriften erhalten, besonders sein Hauptwerk, die „große Zusammenstellung der Astronomie“, oder, wie es im Mittelalter nach der arabischen Übersetzung genannt wurde, der „Almagest“. Wenige Bücher gibt es, die sich so wie dieses Werk einer so lang andauernden Wertschätzung und Anerkennung in wissenschaftlicher Richtung erfreuten, wenige, die auf die Entwickelung einer Wissenschaft eine so lange andauernde, fast dogmatische Herrschaft ausübten. Alle Astronomen, das ganze Mittelalter hindurch bis in die Zeit des Koppernikus, Tycho und Keppler, brachten ihm staunende und aufrichtige Bewunderung entgegen und schöpften aus ihm ihr ganzes astronomisches Wissen. Langsam und stetig führt es den Leser von den einfachen Problemen der sogenannten sphärischen Astronomie oder astronomischen Geographie, d. i. der Darstellung der Bewegung des ganzen Sternenhimmels um die Erde als Zentrum des Weltalls, der Erklärung der zur Bestimmung dieser Bewegung angenommenen Himmelskreise, der Einteilung der Erde in Zonen, der Berechnung der Auf- und Untergangszeiten der Himmelskörper und der verschiedenen Tageslängen für jede Zone usw. bis zu den schwierigsten Problemen der Astronomie, der Theorie der Bewegung von Mond und Sonne, der Vorausberechnung ihrer Finsternisse und der Theorie des Planetenumlaufs am Himmel. Es enthält eine Vervollständigung und Ergänzung des Hipparchschen Sternkataloges von 1022 Sternen durch teilweise Neubeobachtung der in ihm vorkommenden Sterne. Es schildert und beschreibt den Gebrauch und die Konstruktion der astronomischen Meßinstrumente, kurz, es bildet ein Handbuch des

gesamten astronomischen Wissens des Altertums und stellt, und hierin liegt seine kulturhistorische Bedeutung und Wichtigkeit, das Endergebnis des Entwickelungsganges der griechischen Astronomie dar.

Das astronomisch Neue, das uns in dem Buche des Ptolemäus entgegentritt, ist die Verwertung der Theorie der Epizyklen zur Darstellung der Bewegung der Planeten und des Mondes. Schon einige Jahrzehnte vorher hatte wohl Apollonius von Pergae, einer der bedeutendsten Mathematiker des Altertums, auf die Möglichkeit hingewiesen, den Lauf der Planeten am Himmel mit allen seinen Unregelmäßigkeiten, dem Rück- und Vorwärtsschreiten, den Stillständen und daraus folgenden Schleifen durch Epizykeln zu erklären, d. h. durch eine gleichförmige Bewegung zweier Kreise, von denen der Mittelpunkt des einen, des Epizykels oder Aufkreises sich auf dem Umfange des anderen, des Deferenten oder Trägers, mit konstanter Geschwindigkeit drehe. Das Verfahren war unter dem Namen der „Apollonischen Regel" bekannt und Apollonius selbst mag wohl nur aus Mangel an dem nötigen Beobachtungsmaterial

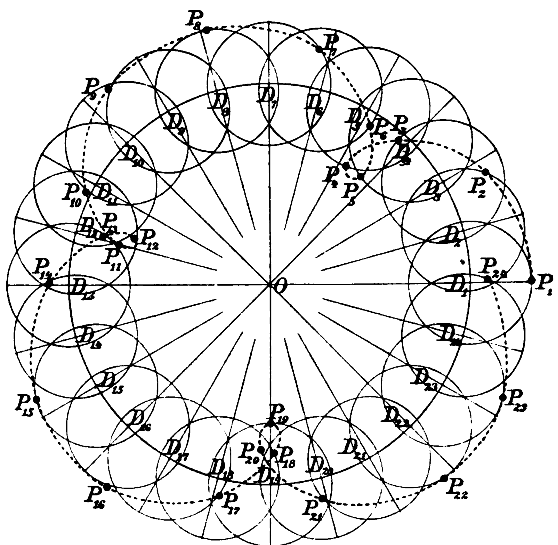


Fig. 9a. Die Epizykeltheorie des Ptolemäus.
Bewegung im Deferenten 15°
" " Epizykel 50°

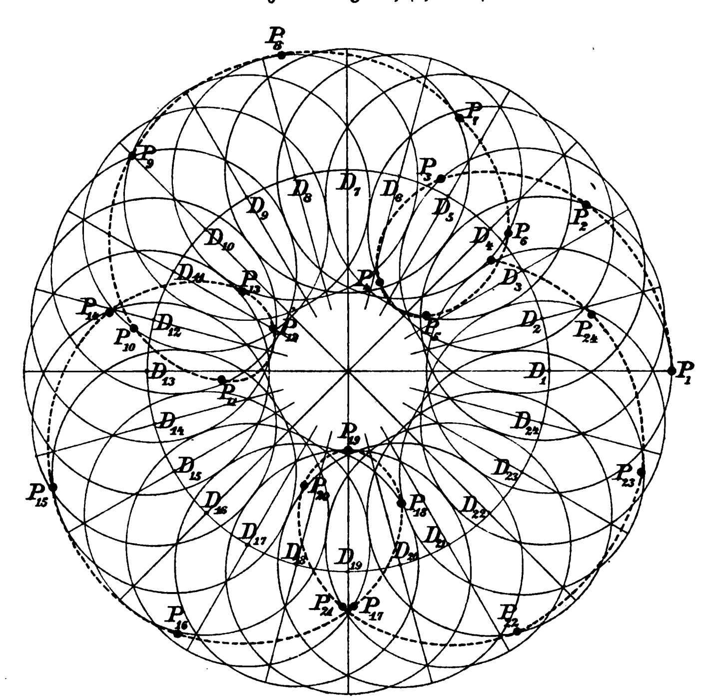


Fig. 9 b. Die Epizykeltheorie des Ptolemäus.
Bewegung im Deferenten 15°
" " Epizykel 50°.

seine Methode nicht praktisch verwertet haben. Dasselbe gilt auch von Hipparch, der bei seiner Sonnen- und Mondtheorie sie nicht benötigte, da er hier mit dem Hilfsmittel der exzentrischen Stellung der Erde ausreichte, zur Theorie der Planeten aber nicht mehr kam. Hier setzte nun Ptolemäus ein und zeigte, daß durch geeignete Wahl der Radien der beiden Kreise, wie durch geeignete Bestimmung der Umlaufszeiten in ihnen und ihres Neigungswinkels gegen die Ekliptik sich der Lauf der Planeten mit großer Annäherung darstellen lasse. Um die Annäherung zu verbessern, d. h. um die Rechnung mit den beobachteten Orten der Planeten am Himmel in noch bessere Übereinstimmung zu bringen, wurde außerdem die Hypothese von der exzentrischen Stellung der Erde im Deferenten zu Hilfe genommen. Die nebenstehenden Figuren 9 a, b, c, sollen ein Bild

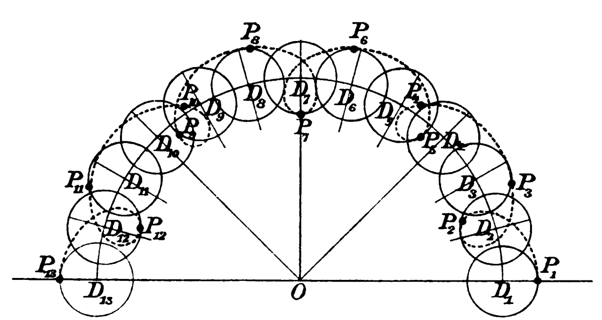


Fig. 9c. Die Epizykeltheorie des Ptolemäus.
Bewegung im Deferenten 15°
„ „ Epizykel 150°.

davon geben, wie durch die Kombination der Bewegungen in den zwei Kreisen, dem Deferenten und dem Epizykel, die schleifenförmige Form der Bahn eines Planeten am Himmel entsteht. In ihnen bedeutet O den Mittelpunkt des Deferenten, D_1 D_2 D_3 . . . der Zeit nach aufeinanderfolgende Punkte desselben, die als Mittelpunkte der Epizykeln zu gelten haben, auf deren Umfang sich der Planet befindet. Die zwei Figuren 9 a, b, stellen den Fall vor, daß die Umlaufszeit im Epizykel etwa dreimal so groß ist als die im Deferenten. Es zeigen sich da während dieser Zeit drei Schleifen. Figur 9c wieder zeigt, den Fall, daß die Umlaufszeit im Epizykel zehnmal so groß ist als die im Deferenten, in welchem Falle auf einen Umlauf zehn Schleifen kommen. Die Zeichnungen sind so durchgeführt, daß der Mittelpunkt des Epizykels auf dem Deferenten gleichförmig d. h. in gleichen Zeiten Winkel von je 15° zurücklegt. Im ersten Fall (Fig. 9a, b) beschreibt der Planet auf dem Epizykel in derselben Zeit je 50° (hierbei ist der Radius des Epizykels in beiden Figuren verschieden groß angenommen), im zweiten (Fig. 9c) je 150°. Man ersieht aus diesen drei Figuren, wie durch geeignete Wahl dieser Umlaufszeiten alle möglichen Schleifen und Zwischenzeiten zwischen ihnen, ferner auch wie durch geeignete Wahl der Radien der beiden Kreise alle möglichen Größen der Schleifen sich ableiten lassen, und damit alle charakteristischen Merkmale in der Bewegung der Planeten um die Erde. Man hatte nur anzunehmen:

Umlaufszeit des Deferenten gleich dem siderischen Umlauf des Planeten, für die Planeten Venus und Merkur gleich dem Umlauf der Sonne,

Umlaufszeit des Epizykels gleich dem synodischen Umlauf, wenn man unter diesem die Zwischenzeit zwischen zwei Stillständen verstand.

Um weitere Ungleichheiten in den Planetenbewegungen zu erklären, namentlich jene, die sich in einer ungleichförmigen Geschwindigkeit selbst während des Vorwärtsschreitens am Himmel zeigten, nahm Ptolemäus wieder zu dem Hilfsmittel der exzentrischen Stellung der Erde in bezug auf den Deferenten seine Zuflucht. Es ist daher in den Figuren 9a, b, c die Erde nicht als im Mittelpunkt *O* des Deferenten liegend anzunehmen, sondern außerhalb desselben und zwar für die verschiedenen Planeten mit verschiedenen Exzentrizitäten und auch verschiedenen Lagen der Apsidenlinien. Um die Bahn eines Planeten im Raume festzustellen, hatte daher Ptolemäus die Aufgabe, aus gegebenen Beobachtungen desselben, d. h. seinen Orten am Himmel zu verschiedenen Zeiten die Lage der Apsidenlinie, die Größe der Exzentrizität, die Größe des Epizykels unter der Voraussetzung, daß der des Deferenten der Einheit gleich sei, zu berechnen. Man nennt diese Größen die Bahnelemente des Planeten. Er hatte ferner die Aufgabe zu lösen, wie man, ausgehend von einer bestimmten und gegebenen Ausgangsepoche aus diesen Elementen den Ort des Planeten am Himmel im Vorhinein für irgend eine beliebige Zeit ableiten könne. Beiden schon ziemlich komplizierten Aufgaben wurde Ptolemäus gerecht. Es gibt dies Zeugnis von den Fortschritten, die die Trigonometrie seit Hipparch durch Ptolemäus gemacht hat. Die Resultate, zu denen Ptolemäus gelangte, sind:

Merkur:	Exzentrizität	$= 6^p\ 0'$ *)	$= 0{,}100$
Venus:	"	$= 2\ 30$	$= 0{,}042$
Mars:	"	$= 6\ \ 0$	$= 0{,}100$
Jupiter:	"	$= 2\ 45$	$= 0{,}046$
Saturn:	"	$= 3\ 25$	$= 0{,}057$

*) Die griechischen Mathematiker kannten noch nicht die Dezimalbrüche, sondern verwendeten sogenannte astronomische Brüche, d. h. Brüche mit dem Nenner 60, diese hießen partes, dann ihre ersten Unterabteilungen minutae primae, u. weiter minutae secundae. Es bedeutet daher $2^p\ 30'$ in moderner Schreibweise $\frac{2}{60} + \frac{30}{60^2}$ oder in Dezimalbruchform $= 0{,}041666\ldots$ abgerundet 0,042.

Merkur:	Radius d. Epizykel	$= 22^p\ 30'$	$=$	0,375
Venus:	"	$= 43\ \ 10$	$=$	0,720
Mars:	"	$= 39\ \ 30$	$=$	0,658
Jupiter:	"	$= 11\ \ 30$	$=$	0,192
Saturn:	"	$= 6\ \ 30$	$=$	0,109

für den Radius der Deferenten $= 1 = 60^p$.

Die Hipparchsche Theorie der Sonne ließ Ptolemäus fast ungeändert. Dagegen ändert er die Theorie des Mondes bedeutend. Er wurde dazu genötigt durch die Entdeckung einer neuen Ungleichheit in dessen Bewegung. Diese besteht darin, daß die erste Ungleichheit nicht konstant, sondern an verschiedenen Stellen der Mondbahn von verschiedener Größe ist, d. h. selbst wieder eine Ungleichheit zeige, sie ist kleiner beim Neu- und Vollmond (man nennt diese beiden Phasen die Syzygien), und größer in den Quadraturen, d. i. im ersten und dritten Mondesviertel. Wäre die Bewegung des Mondes gleichförmig so würde er täglich am Himmel $13^0\ 10'$ zwischen den Sternen zurücklegen. Zufolge der ersten Ungleichheit ist dies jedoch nicht der Fall, sondern er bewegt sich in einem Teile seiner Bahn rascher, in dem andern langsamer. Das Maximum der Geschwindigkeit ist $15^0\ 18'$, das Minimum $10^0\ 2'$. Die Orte, in denen die Maxima und Minima eintreten, ändern ihre Lage zwischen den Sternbildern, d. i. die zweite, schon Hipparch bekannte Ungleichheit, die dieser durch eine Drehung der Apsidenlinie erklärte. Nun fand Ptolemäus, daß diese Maxima und Minima nicht zu allen Phasen des Mondes gleich sind. Fällt das Maximum oder Minimum in den Neu- oder Vollmond, so liegt die Schwankung zwischen den Grenzen $15^0\ 2'$ und $11^0\ 18'$, fällt es jedoch in die Zeit der Quadraturen, so ist die Schwankung eine größere und liegt zwischen den Grenzen $17^0\ 34'$ und $8^0\ 46'$. Man nennt diese neue Ungleichheit die Evektion. Zu ihrer Erklärung nimmt Ptolemäus auch beim Monde zu einem Epizykel seine Zuflucht und findet, daß es genüge anzunehmen, daß sich dieser mit doppelter Geschwindigkeit also halber Periode (13,6 Tage) im exzentrischen Deferenten um die Erde dreht.

Zu allen diesen Ungleichheiten in den Bewegungen der Planeten wie der Sonne und des Mondes kommen in letzter Linie die Breitenänderungen hinzu. Diese rühren bekanntlich

daher, daß nur die Sonne sich in der Ebene der Ekliptik bewegt, nicht aber der Mond und die Planeten, diese vielmehr bald nördlich, bald südlich von ihr erscheinen, wenn auch der Abstand von der Ekliptik oder die Breite stets nur sehr klein ist und einige wenige Grade beträgt. Auch die hier auftretenden Schwierigkeiten überwand Ptolemäus. Es genügt zu ihrer Erklärung anzunehmen, daß weder die Ebenen der einzelnen Deferenten der Planeten, noch die der Epizykeln mit der Ekliptik zusammenfallen, sondern untereinander sowohl, wie mit der Hauptebene der Ekliptik kleine Neigungswinkel einschließen. Erst, wo diese einfache Hypothese zur Darstellung der Breitenbewegungen nicht ausreichte, fügte er als Hilfshypothese noch die hinzu, daß die Neigungswinkel der Ebenen kleinen Schwankungen unterworfen seien und mit beiden Hypothesen zusammen glückte es ihm, seiner Aufgabe voll und ganz gerecht zu werden. Er konstruierte, so wie dies schon Hipparch für Mond und Sonne getan hat, auch für die 5 Planeten Tafeln, aus denen man ihre Stellungen am Himmel leicht berechnen konnte.

Bei der Bestimmung der Distanzen des Mondes und der Sonne von der Erde stützt sich Ptolemäus ganz auf Hipparch. Die Zahlen, die er findet, weichen auch nur wenig von den Hipparchschen ab. Sie sind:

mittlere Distanz Erde — Sonne = 1210 Erdhalbmesser
„ „ Erde — Mond = 59 „
Radius der Sonne = $^{94}/_{17}$ „
„ des Mondes = $^{5}/_{17}$ „

und zeigen natürlich die gleichen Fehler wie jene, daß nämlich die für den Mond gültigen Werte ziemlich richtig, die für die Sonne aber recht schlecht sind.

Dagegen setzt Ptolemäus die Größe des Erdumfanges, abweichend von der Messung des Eratosthenes, zu 180 000 Stadien an, einen Erdgrad daher zu 500 Stadien, woraus, ein Stadium zu 185 m angenommen, für denselben die viel zu kleine Zahl 33 300 km statt 40 000 km folgt. Diese fehlerhafte Annahme wurde für das 15. Jahrhundert zum Verhängnis und es bedurfte zahlreicher neuer Beobachtungen im 16. und 17. Jahrhundert, um sie auszumerzen. Selbst Newton führte seine Rechnung, die er zur Bestimmung der Fallbeschleunigung der Körper

anf der Erde aus der Bewegung des Mondes anstellte, mit diesem zu kleinen Werte für die Größe des Erdumfanges durch und erhielt für sie statt 30 engl. Fuß 26. Er gab, von diesem Ergebnis seiner Rechnung nicht sehr befriedigt, seinen Gedanken auf, bis er, etwa 10 Jahre später, von der neuen Gradmessung hörte, die Picard in Frankreich ausführte, seine Rechnung wiederholte und dann erst die ersehnte Übereinstimmung erzielte.

IV. Das Mittelalter.

§ 22. Mit dem Tode des Ptolemäus endet die Reihe der bedeutenden griechischen Astronomen. Nur wenige wären noch als seine Nachfolger zu nennen. Da sie aber weder durch irgendwelche besonderen Beobachtungen noch durch neue Anregungen zum Fortschritt der Wissenschaft beitrugen, sondern sich meist darauf beschränkten, zu den Werken des Hipparch und des Ptolemäus Kommentare zu schreiben, können ihre Namen füglich unerwähnt bleiben.

Das große Werk des Ptolemäus bildet den Schlußstein in der Entwickelung der griechischen Astronomie. Ehe jedoch auf die weitere geschichtliche Darstellung eingegangen werden soll, dürfte es zweckmäßig erscheinen, nach dem durchlaufenen Weg eine kurze Rast zu machen und sie dazu zu benutzen, einen Gesamtüberblick über den Stand der astronomischen Kenntnisse und das ihnen entsprechende Weltbild zn geben. Es wird sich hierbei auch passende Gelegenheit ergeben, dieses Bild in manchen Punkten durch die Erwähnung und Erklärung einiger anderer Ergebnisse der Astronomie zu ergänzen, die mit ihrem Hauptentwickelungsgang parallel liefen.

Man stellt das ptolemäische Weltsystem meist derart bildlich dar, daß man die Erde als Zentralkörper annimmt, und um sie 10 konzentrische Kreise sich gezogen denkt, von denen die 7 innersten der Reihe nach die Sphären der 7 Planeten, Mond, Merkur, Venus, Sonne, Mars, Jupiter und Saturn bedeuten, die 8. Sphäre die Fixsterne trägt, die 9. die Präzession besorgt und die 10. äußerste als primum mobile die tägliche Bewegung des Ganzen bewirkt.

Dieses Bild dürfte den Gedanken entstehen lassen, als ob Hipparch sowohl wie Ptolemäus sich die Deferenten und Epizykeln als reale Kreise, auf Kristallsphären eingegraben, gedacht hätten. Indes trifft dies weder bei dem einen noch bei dem

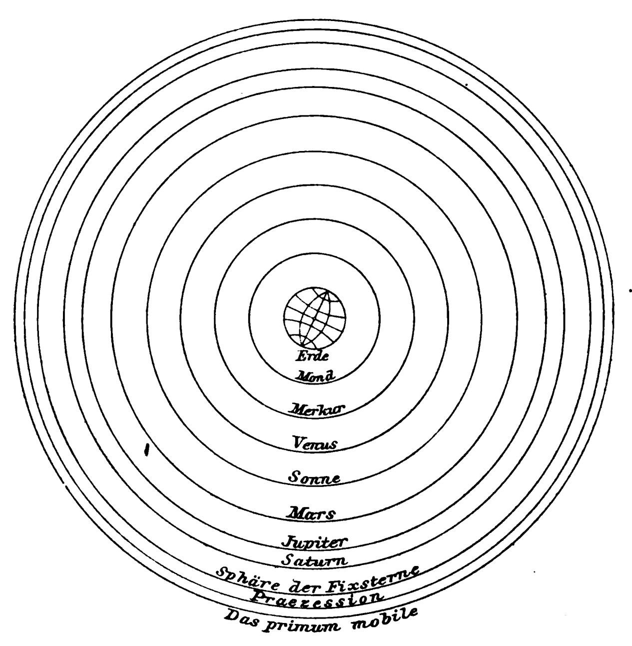


Fig. 10. Das Ptolemäische Weltbild.

andern zu. Die Aufgabe der mathematisch gebildeten Astronomen, hieß es damals, bestehe nicht darin, zu untersuchen, wie die Dinge sich in Wirklichkeit in der Natur verhalten, sondern nur darin, die Bewegungen der Planeten am Himmel in einer Weise darzustellen, die den Erscheinungen nicht widerspreche und zu ihrer Berechnung und Vorhersage am bequemsten sei. Das Weltbild des Ptolemäus ist daher als ein rein geometrisches Bild anzusehen, dessen reale Unterlage ganz unbekannt ist. Hierin unterscheidet es sich von dem Weltbild des Aristoteles, der auf Grundlage der Eudoxischen Theorie eine physisch wahre Beschreibung des wirklichen Zusammenhanges der Weltkörper geben wollte, dessen dahinzielender Versuch jedoch schon im Altertum keine Anerkennung gefunden hatte. In dieser rein geometrischen Auffassung der Bewegungen der Planeten liegt auch die Erklärung dafür, daß man sich nicht daran stieß, kreisförmige Bewegungen um ideale Punkte als Zentra der Bewegung für

möglich zu halten, wie es die exzentrische Lage der Erde inner=halb der Deferenten erfordert.

Natürlich wird man nicht leugnen können, daß es nicht auch Astronomen gegeben habe, denen die ptolemäische Abstraktion zu hoch war und die doch an die Existenz realer Sphären glaubten, auf denen die Mittelpunkte der Epizykeln sich wie Räder in Furchen bewegen. Besonders das Mittelalter, noch bis in das 16. Jahrhundert hinein begünstigte vielfach die Vorstellung solcher solider Sphären, Kreise und Räder. Tycho Brahe rühmt sich ausdrücklich des Verdienstes, durch seine Untersuchungen über Kometenbahnen und durch den hierdurch erbrachten Nachweis, daß diese weit jenseits des Mondes, ja selbst der Venus ihre Bahnen um die Erde beschreiben, zuerst die Unmöglichkeit solider Sphären erwiesen, das künstliche Gerüste derselben zertrümmert zu haben.

Sieht man trotzdem Figur 10 als ein Abbild des ptolemäischen Systems an, so stößt man schon bei der Konstruktion des Bildes auf die Schwierigkeit, wie groß die Radien der Deferenten für die einzelnen Planeten zu zeichnen sind. Man kennt nur die Distanz von Mond und Sonne von der Erde und hat darnach den Radius des Deferenten für den Mond ca. 60 mal so groß anznnehmen als den Halbmesser der Erde und wiederum den Radius des Deferenten für die Sonne 19 mal so groß als den für den Mond. Alle anderen Kreise sind ganz willkürlich und schon Ptolemäus bemerkt, daß die Entfernungen der Planeten von der Erde ganz unbestimmbar seien und daß, wenn er sie in der Reihenfolge: Mond, Merkur, Venus, Sonne, Mars, Jupiter und Saturn ansetze, er nur deshalb der Sonne den mittleren Platz einräume, weil sie in natürlicher Weise jene Planeten, welche sich beliebig von der Sonne entfernen können, von jenen trenne, die stets in deren Nähe bleiben.

Seit Aristarch und Hipparch, welche im Ganzen in so glücklicher Weise das Problem gelöst hatten, die Entfernung von Sonne und Mond von der Erde zu bestimmen, ließen die Griechen nichts unversucht, noch weiter in die Tiefe des Himmels zu dringen. Es mehren sich auch seitdem die Angaben und Berichte der Astronomen über solche Distanzbestimmungen. Aber teils beruhen sie auf nicht ganz einwandfreien Messungen und haben daher nicht jenen Anklang und jene Wertschätzung gefunden, wie die Aristarchs und Hipparchs; teils sind sie nichts

anderes wieder als Wiederholungen pythagoräischer Spekulationen über Zahlenharmonien.

Dagegen hatte man über die Ausdehnung der Fixsternsphäre, d. i. über die Dimensionen des ganzen Weltalls schon in der Zeit des Aristoteles eine einigermaßen klare Anschauung. Euklides, der berühmte Geometer, dessen „Elemente" noch heute als mustergültig für die Behandlung geometrischer Probleme angesehen werden und die mittelbar und unmittelbar die Grundlage für unsere an den Mittelschulen in Verwendung stehenden Lehrbücher der Geometrie bilden, beginnt sein Werk „Die Phänomene" mit den Worten: „Die Erde befindet sich im Mittelpunkte des Weltalls und steht zur Ausdehnung desselben im Verhältnisse eines Punktes," ein Satz, der ausdrücken soll, daß die Welt unendlich groß sei im Vergleiche zur Erde, und im direkten Gegensatze steht zu Aristoteles, der nur eine begrenzte Welt anerkennt, die in anfang- und endloser Bewegung begriffen ist. Einer solchen Ausdrucksweise „eine Fläche im Verhältnis zu einem Punkte", bediente man sich damals allgemein, um ein unendlich großes Verhältnis darzustellen. In der Tat ist die Oberfläche einer Kugel unendlichmal größer als die Fläche eines Punktes, wenn man sich diesen nicht als einen geometrischen Punkt, sondern als eine unendlich kleine Kugel vorstellt. So berichtet Archimedes über Aristarch in der schon erwähnten Stelle seiner Sandrechnung, daß dieser annehme, die Kugel der Fixsterne habe eine solche Größe, daß der Kreis, in dem sich die Erde bewegt, zur Entfernung der Fixsterne sich so verhalte, wie der Mittelpunkt einer Kugel zu ihrer Oberfläche. Ähnlich äußert sich auch Ptolemäus; die Größe der Erde, sagt er, ist einem Punkte gleichzusetzen gegenüber der Sphäre der Fixsterne; und ebenso Koppernikus: Terra est respectu coeli ut punctum ad corpus. Kleomedes, der Mathematiker, der bei der Erdmessung des Archytas erwähnt wurde, sagt, das Universum sei ungeheuer groß, um nicht zu sagen, unendlich. Es sei ferner, meint er, nicht unmöglich, daß es Sterne gebe, die größer seien als die Sonne, und daß diese ebenso klein erscheinen würde, wenn sie in eine solche Entfernung von der Erde käme, wie es jene sind. Die Erde, von der Sonne aus betrachtet, sei nichts anderes als ein Punkt, und von einem Sterne aus gesehen, sei sie möglicherweise überhaupt nicht wahrnehmbar. Es sind dies Gedanken und Ideen, die wert sind, ihren Platz in irgend-

einem populären Lehrbuch der Astronomie der neuesten Zeit zu erhalten.

Fragt man, wie Euklid und mit ihm die anderen eben erwähnten Astronomen zu diesen Anschauungen gelangt sind so dürfte die Antwort darauf wohl nicht anders lauten als durch die folgende Überlegung: Man machte die Wahrnehmung, daß die tägliche Bewegung der Fixsterne sich für alle Beobachter auf der Erde ganz gleich verhalte und zwar so, als ob sie im Mittelpunkte der Erde stünden. Eine Bewegung der Beobachter auf der Erde, ja sogar nach der Aristarchschen Lehre mit der Erde im Raume, änderte nichts an den Bildern, die die Fixsterne in ihrer gegenseitigen Gruppierung am Himmel uns zeigen. Man schloß dann aus diesen Tatsachen, daß die Dimensionen der Erde gegenüber denen der Fixsternsphäre unendlich klein sein müssen.

Man nennt in der Astronomie jede durch eine Bewegung des Beobachters auf der Erde oder durch den Wechsel seines Standortes während der Beobachtung hervorgerufene Richtungsänderung nach einem Sterne eine Parallaxe, d. h. eine Verschiebung. Auf Grund von Parallaxenmessungen ist man in der Lage, die Distanzen der Sterne von der Erde zu berechnen, indem jede derartige Messung ein Dreieck gibt, von dem man die Basis, d. i. die Entfernung der beiden Beobachtungsorte auf der Erde AB und die 2 Winkel an der Basis α, β durch die nach dem beobachteten Sterne gemessenen Richtungen kennt, dessen zwei andere Seiten sich daher durch trigonometrische Rechnung oder konstruktiv bestimmen lassen. Ist keine Parallaxe vorhanden, so geht dieses Bestimmungsdreieck in eine Figur über, die aus der bekannten Basis und den zwei nach dem beobachteten Sterne gerichteten, aber einander parallel laufenden Seiten besteht. Eine Berechnung der Distanz ist in diesem Falle nicht möglich. Es scheint so, daß der Begriff der Parallaxe schon zur Zeit

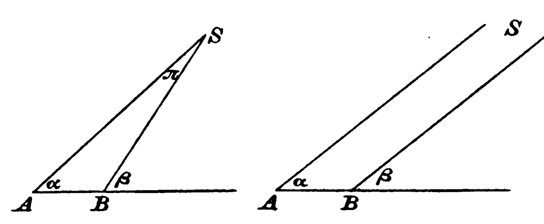


Fig. 11. Bestimmung der Distanz eines Körpers von der Erde. π = Parallaxe.

Euklids den Astronomen geläufig war und sie aus dem Fehlen derselben beim Beobachten von Fixsternen den richtigen Schluß zogen, daß diese fast unendlich weit von der Erde entfernt sind. Ebenso schließt Polemäus aus der Tatsache, daß selbst die genauesten Beobachtungen der Planeten keine Spur einer parallaktischen Verschiebung erkennen lassen, daß ihre Distanzen von der Erde unbestimmbar seien.

§ 23. Mit dem Abschluß der griechischen Astronomie durch das große Werk des Polemäus endigt auch die als das Altertum bezeichnete große Epoche in der Geschichte der Menschheit. Es bricht über die alten Kulturländer Europas jene stürmisch bewegte Zeit herein, die als die Periode der Völkerwanderung bekannt ist. In den steten Einfällen der von Norden und Nordosten herandrängenden Völker und in den ununterbrochenen Kämpfen, durch die Leben und Eigentum der Einzelnen ihre Sicherheit verloren, fand man weder Zeit noch Liebe zu den friedlichen Beschäftigungen mit Kunst und Wissenschaft. Die alten Stätten wissenschaftlicher Forschung verfielen immer mehr und selbst die ersten und wichtigsten Errungenschaften der griechischen Astronomie, die Lehre von der Kugelgestalt der Erde und die Vorstellung, daß der über der Erde sich wölbende Himmel eine Vollkugel sei, gingen verloren. Teilweise aus dem Grunde, weil diese zwei Lehren überhaupt nicht ganz und voll in das geistige Eigentum der Völker übergegangen, sondern nur unter den Gelehrten bekannt waren. Denn selbst ein Mann, wie der römische Geschichtsschreiber Tacitus hielt noch an der Scheibenform der Erde fest und glaubte dementsprechend, daß die Sonne bei ihrem Aufgange den östlichen, bei ihrem Untergange den westlichen Ländern der Erde sehr viel näher stehe als den Ländern, über die sie zu Mittag scheine und daß sie dort bedeutendere Wärmewirkungen hervorrufe. Teilweise aber auch aus religiösen Bedenken, welche das Christentum, dessen Entstehung und Verbreitung in jene Zeit fällt, gegen diese zwei Lehren hegte. Beide brachten nämlich die Annahme mit sich, daß es neben dem bewohnten Teile des Erdkörpers einen zweiten ihm entgegengesetzt liegenden Teil gebe, daß dieser ebenfalls von menschlichen Wesen bewohnt sei und daß diese Bewohner an der Erlösung von der Erbsünde und dem Anteil an dem himmlischen Reiche nicht teilhaftig werden könnten, da man sich zu ihnen keinen Zugang zu denken vermochte. Diese Ausschließung

wurde als ein unerträglicher Einwand gegen die christliche Lehre empfunden.

Man kam, in der Erkenntnis der astronomischen Erscheinungen rück- statt vorwärts schreitend, zu der alten Vorstellung zurück, daß die Erde eine vom Ozean umflossene Scheibe sei, jenseits der ewige Finsternis herrsche. Palästina liege in der Mitte dieser Scheibe und in der Mitte Palästinas Jerusalem. Um den Ozean herum befinde sich noch ein zweiter Kontinent mit seinem größeren Teile in östlicher Richtung von der bewohnten Erde gelegen. Auf ihm wohnten die ersten Menschen, ehe zur Zeit Noahs die Sintflut eintrat. Dort war auch das Paradies. Bei der Sintflut setzten die Menschen über den großen Ozean hinweg. Seitdem ist das andere Land unerreichbar. Die ganze Erde ist ferner mit hohen Mauern umgeben, auf denen der Himmel ruht, in Gestalt eines länglichen gewölbten Kastens, dessen Länge doppelt so groß ist als die Breite, analog der Stiftshütte im alten Tempel zu Jerusalem, die auch doppelt so lang war als breit. Das ganze Weltall zerfällt in zwei Stockwerke, ein unteres, das die irdische Welt enthält, und ein oberes, das himmlische Reich Christi und den Aufenthaltsort der Seligen. Die Sterne werden von Engeln im Kreise am Himmel herumgeführt, die von Gott, dem Herrn, von Anbeginn der Schöpfung zu dieser Arbeit berufen sind. Ebenso werden Sonne, Mond und die Planeten herumgeführt, und als die Frage nach dem Aufenthaltsorte der Sonne in der Nacht gestellt wurde, hieß es, daß sie während dieser Zeit auf der Berührungslinie des Himmels mit der Erde, von Westen über Norden nach Osten hin zurückkehre. Dabei halte sie sich im Winter in tieferen Regionen auf und habe daher einen viel längeren Weg zurückzulegen als im Sommer, wo sie, ihrem Aufgangspunkt näher, diesen in kürzerer Zeit erreiche. So entstehen die langen Winter- und die kurzen Sommernächte.

Dies ist das Weltbild des Kosmas, eines christlichen Mönches des 6. Jahrhunderts, der nach einer von ihm unternommenen Fahrt nach Indien Indikopleustes genannt wird. Doch gab es auch andere Männer, welche die Beweise für die Kugelgestalt der Erde, ja sogar das ganze ptolemäische System kannten, aber aus Furcht vor einem Kampfe mit der herrschenden Meinung, und um die frommen Gemüter nicht zu verletzen, alle Ausdrücke mieden, die in diesem Sinne gedeutet werden konnten.

Mit dem 10. Jahrhundert trat der tiefste Stand der Wissenschaft in Europa ein. Erst im 11. und 12. Jahrhundert beginnt das Interesse für die Astronomie sich wieder zu regen. An den hohen Schulen, die zu dieser Zeit — Ende des 12. und Anfang des 13. Jahrhunderts — in Paris, Oxford, Cambridge, Neapel, Bologna und Padua errichtet wurden, wurde auch Astronomie gelehrt, namentlich ein Studium der klassischen griechischen Werke wieder angeregt. Es entstand jene berühmte Philosophenschule, die unter dem Namen der Scholastiker bekannt ist. Sie läßt sich charakterisieren in formaler Hinsicht durch eine übermäßige Ausbildung einer haarspaltenden Dialektik, wie sie Aristoteles lehrte, und in materieller Hinsicht durch eine Abhängigkeit der philosophischen Lehrmeinung von der doppelten Autorität der Kirchenlehre und des Aristoteles. Es gab nach ihrer Ansicht nur zwei Erkenntnisse, jene, die in der heiligen Schrift durch den Mund Gottes offenbart, und als zweite, die im Aristoteles enthalten sind. Beide miteinander in Einklang zu bringen, ist nach ihnen der Hauptzweck der Philosophie. Daß hierbei öfters dem Aristoteles Gewalt angetan wurde als der Bibel, ist klar.

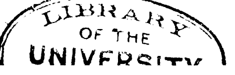
§ 24. Während dieser Periode, von 500—1300 n. Chr. G., fand jedoch die Wissenschaft und namentlich die Astronomie bei einem Volke Aufnahme und gediegene Pflege, das, jung an Jahren, überhaupt erst um das Jahr 500 in der Weltgeschichte eine Rolle zu spielen begann, nachdem es Jahrtausende lang ohne Berührung mit der übrigen Welt größtenteils als Nomadenvolk gelebt hatte. Es ist das Volk der Araber. Durch die neue in ihm entstandene Religion, den Islam, fanatisiert, brach es plötzlich hervor. Ein Tatendrang überkam es, der es in unglaublich kurzer Zeit zu politischen Herren eines großen Teiles des bekannten Erdkreises machte. Von Ägypten bis Indien, von Lissabon bis Samarkand erstreckte sich bald seine Herrschaft. In dieser ersten Zeit seiner kriegerischen Epoche verachtete es noch die Pflege der Wissenschaft. Mancher Rest griechischer Kultur, den die Völkerwanderung verschont hatte, wurde von ihm zerstört, wie die Sage vom Brande von Alexandria und der noch dort vorhandenen Reste der griechischen Bibliothek berichtet. Als aber das Volk sich der Früchte seiner Eroberungen zu erfreuen begann, stellte sich der Geschmack an der verfeinerten Kultur der unterworfenen Völker, an deren Kunst

und Wissenschaft ein und entwickelte sich ein reger Wissens- und Forschungseifer.

Der berühmte Märchenkhalif Harun al Raschid war, wenn nicht der erste, so doch einer der ersten arabischen Fürsten, die die Wissenschaft begünstigten. Von den griechischen Kaisern in Byzanz erbat er sich die alten klassischen griechischen philosophischen Schriften als Geschenk, ließ sie ins Arabische übersetzen, suchte hierauf seine Gelehrten anzuregen, diese Werke zu lesen und das darin enthaltene Wissen sich anzueignen. Dabei ging er selbst mit gutem Beispiele voran. Er suchte Umgang mit seinen Gelehrten und nahm an ihren Disputationen teil. Als sein Sohn, der Khalif Al Mamum, nach einem glücklichen Kriege mit dem griechischen Kaiser Michael Frieden schloß, wurde in den Friedensvertrag die Klausel aufgenommen, daß der Kaiser verpflichtet sei, von sämtlichen in den griechischen Bibliotheken befindlichen Werken je ein Exemplar dem Khalifen zu überlassen, der sie sodann ins Arabische übersetzen ließ. Dieser Übersetzungstätigkeit der arabischen Fürsten verdankt man die Erhaltung vieler griechischer Werke, so u. a. der großen Syntax des Ptolemäus, die arabisch Tabrir al magesthi genannt wurde. Die Werke des Aristoteles sind ebenfalls vorerst in arabischen Übersetzungen europäischen Gelehrten vermittelt worden, ehe man die griechischen Originale erhielt. Namentlich die Scholastiker waren es, die diese Vermittelung besorgten und eigene Rückübersetzungsbureaus waren für diese Zwecke tätig, in die man arabische und jüdische Gelehrte aus Spanien berief. Es wird auch häufig den Arabern die Erhaltung der klassischen griechischen Schriften und den Scholastikern die Verbreitung dieser arabischen Übersetzungen im Abendlande als Hauptverdienst ihrer gesamten wissenschaftlichen Tätigkeit angerechnet.

Was das Weltbild der arabischen Astronomen anlangt, so hielten sie an der natürlichen Illusion, welche die Erscheinungen am Himmel zeigen, fest, d. i. an dem Dogma der zentralen und ruhenden Stellung der Erde zum sphärisch gewölbten Himmel und an der epizyklischen Bewegung der Planeten um sie im ptolemäischen Sinne. Die Philosophie des Aristoteles und seine ganze Weltauffassung, im speziellen das astronomische System des Ptolemäus, waren für sie maßgebend.

Während der Regierung des Khalifen Al Mamum, im Jahre 827 n. Chr., wurde nach einem Auftrage desselben



eine neue Gradmessung zur Bestimmung der Größe der Erde ausgeführt. Von einem Orte, der in der Ebene Sindjar nördlich vom Euphrat liegt, sollten zwei Astronomen, der eine genau in nördlicher Richtung, der andere genau in südlicher je einen Grad zurücklegen, die Polhöhen an den Endpunkten mit einem Gnomon möglichst genau feststellen und die zurückgelegte Strecke mit einer Meßkette abmessen. Der eine Astronom fand so die Länge eines Grades 56, der andere $56^2/_3$ arabische Meilen. Letztere Zahl wurde als die richtigere angesehen und gab als Umfang der Erde 20409 arabische Meilen. Von der Genauigkeit der Messung kann man sich jedoch keine genügende Vorstellung machen, da die arabische Meile keine gesetzlich fixierte Maßeinheit war. Nimmt man als Mittelwert aller Bestimmungen eine arabische Meile gleich 2160 m an, so wird damit der Umfang der Erde gleich 44064 km statt 40000 km, also etwas zu groß, ein Fehler, der jedenfalls mehr der Maßübertragung als der Messung selbst zuzuschreiben ist.

Um das Jahr 879 n. Chr. stellte sich Albategnius (Al Batani) die Aufgabe, die Sonnentheorie des Hipparch zu revidieren. Dabei glückte ihm eine neue Entdeckung. Indem er als Basis seiner Bestimmungen für die Zwischenzeiten zwischen den Äquinoktien und Solstitien die Zahlen verwendete

vom Frühlingsäquinoktium zum Sommersolstitium	93,5	Tage
von diesem zum Herbstäquinoktium	93,2	„
„ „ „ Wintersolstitium	89,0	„
„ „ „ Frühlingsäquinoktium	89,6	„

findet er für die Länge des Apogäums 82° 14′ statt 66°, wie Hipparch sie bestimmt hatte, und für die Exzentrizität $^1/_{58}$ statt des Hipparchschen Wertes $^1/_{24}$. Er deutet diesen Unterschied in richtiger Weise dahin, daß wie beim Monde auch bei der Bewegung der Sonne um die Erde eine Drehung der Apsidenlinie ihrer Bahn stattfinde. Sie beträgt 16° 14′ in etwa 1000 Jahren und erfolgt rechtläufig im Sinne der Zeichen. Indem Albategnius aber die Hipparchsche Beobachtung dem Ptolemäus zuschreibt, nimmt er als Zwischenzeit nur 783 Jahre an und berechnet die Größe dieser Bewegung zu 75″ in einem Jahre. Ebenso beobachtete er auch die Längen von Fixsternen und nach Vergleich derselben mit den Angaben des Almagest erhält er für die Präzession als Zunahme der Längen 11° 50′ in 783 Jahren oder 1° in 66 Jahren, d. h. 55″ in einem Jahre, einen Wert,

der sich der Wahrheit schon ziemlich nähert, aber von dem Hipparchschen 1° in 100 Jahren oder 36″ in einem Jahre bedeutend abweicht.

Im Jahre 1260 wiederholte Nassir-Eddin, welcher an einer von einem mongolischen Fürsten in Maragha erbauten Sternwarte tätig war, die Beobachtungen zur Bestimmung der Präzession und fand für sie 1° in 70 Jahren oder 51″ in einem Jahre, einen Wert, an welchem die Neuzeit festhält.

Durch die großen Differenzen, welche die Beobachtungen über die Größe der Präzession erkennen ließen, von 36″ in einem Jahre, welchen Wert Hipparch und Ptolemäus angenommen hatten, bis 55″, dem Werte des Albategnius, wurden die arabischen Astronomen zu der Vorstellung geführt, daß die Präzession veränderlich sei und etwa die gleichen Ungleichheiten einer bald beschleunigten, bald verzögerten Bewegung zeige, wie die Planeten in ihrem Laufe um die Erde. Statt die auftretenden Differenzen Beobachtungsfehlern zuzuschreiben und gerade die Beobachtung des Ptolemäus für die fehlerhafte zu halten, versuchte man es, diese Erscheinung durch eine Art oszillierender Bewegung des Frühlingspunktes zu erklären. Man faßte sie als eine Begleiterscheinung der Präzession auf und nannte sie die Trepidation. Diese Erklärung spielte das ganze Mittelalter hindurch, besonders bei der Konstruktion der Planetentafeln, eine wichtige Rolle. Erst Tycho Brahe klärte den hier obwaltenden Irrtum auf, indem er auf den ungeheueren Unterschied in der Genauigkeit der alten Beobachtungen und seiner eigenen hinwies und von der Trepidation wurde seitdem nichts mehr gehört.

Von den vielen Sternkatalogen, die durch den Fleiß der Araber angelegt wurden, sind zu erwähnen als erster der des Al Sûfi, eines Persers, der am Hofe des Khalifen in Bagdad (10. Jahrh.) lebte. Er verfertigte einen Himmelsglobus, zeichnete auf ihm alle sichtbaren Sterne auf, verglich ihn sorgfältig mit dem Himmel und verbesserte sodann nach ihm die beobachteten Positionen der Sterne seines Kataloges. Besonders wertvoll macht diesen Katalog die Größenbestimmung der einzelnen Sterne, auf welche Al Sûfi spezielle Sorgfalt verwendete. Ein zweiter Katalog ist der des Ulug Begh, eines Enkels des mongolischen Weltoberers Tamerlan. Zunächst sollte dieser ganz auf dem des Ptolemäus basieren. Unrichtigkeiten aber, die sich beim Vergleich der Sternorte mit dem Himmel trotz der Korrekturen des Al Sûfi

zeigten, gaben zu neuen Beobachtungen Veranlassung, die sich bald auf alle Sterne und nicht bloß auf die erstreckten, deren Position fehlerhaft erschienen. Es ist daher dieser Katalog das zweite vollständig unabhängig von Ptolemäus ganz auf eigene Beobachtungen sich stützende Sternverzeichnis.

Abulfeda, ein syrischer Fürst (1273—1331), lehrte, daß, wenn von zwei Menschen der eine gegen Osten, der andere in westlicher Richtung um die Erde wandere und beide an ihrem Ausgangspunkte wieder zusammenkommen, der erste dabei in der Kalenderfolge um einen Tag voraus, der zweite um einen Tag zurück sein werde. Eine wohl jetzt bekannte Tatsache, die hiermit zum ersten Male erörtert wird, die aber, als im Jahre 1522 das Schiff „Viktoria“ die erste Weltumseglung unter Führung des Portugiesen Magelhan ausführte, nach dreijähriger Fahrt nach Sevilla zurückkehrte und sich dabei tatsächlich zeigte, daß in der Schiffsrechnung ein Tag fehle, viel Aufsehen erregte und aus religiösen Gründen Bestürzung hervorrief. Hatte doch die Mannschaft die Fest- und Fasttage zu falscher Zeit gehalten und mußte in der Domkirche daselbst öffentlich die damit begangenen Sünden abbitten.

Ebenso wie im östlichen Teile der der arabischen Herrschaft unterworfenen Länder blühte die Astronomie auch im westlichen Teile, in Spanien. In Toledo versammelte der christliche König Alfons X. von Castilien, der Weise genannt, der 1226 geboren, von 1252—1282 regierte, einen astronomischen Kongreß, auf dem arabische, jüdische und christliche Gelehrte unter Leitung des Rabbiners Isaak ben Said Hassan sich mit der Herstellung neuer Planetentafeln befassen sollten. Neue Instrumente wurden im großen Stile ausgeführt, möglichst zahlreiche Beobachtungen mit ihnen angestellt, die dazu dienen sollten, die numerischen Angaben des Ptolemäus in seinem Almagest oder die Bahnelemente der Planeten zu verbessern. Mannigfache neue Ungleichheiten in den Bewegungen der Planeten hatten ja die arabischen Astronomen entdeckt, in der Bewegung der Sonne die Drehung der Apsidenlinie, in der täglichen Drehung der Fixsternsphäre die Präzession und ihre vermeintliche Unregelmäßigkeit, die Trepidation. Alle diese neuen Unregelmäßigkeiten machten eine neue Berechnung der Ptolemäischen Tafeln notwendig und ganz im Sinne und Geiste des Ptolemäus unterzogen sich die in Toledo versammelten Astronomen dieser Aufgabe. Die von

ihnen herausgegebenen Tafeln, die man die Alfonsinischen Tafeln nennt, beherrschten auch lange Zeit hindurch die Astronomie, das ganze Mittelalter hindurch bis Koppernikus. Sie bilden den Abschluß der arabischen Astronomie, denn mit ihnen endet die Blütezeit derselben, ja mit ihnen verschwinden wieder die Araber vom wissenschaftlichen Weltschauplatz nach einer kurzen, aber nicht ganz erfolglosen Laufbahn als Astronomen.

§ 24. Eine Sage erzählt, daß, als der Astronomenkongreß in Toledo unter der Leitung des Königs Alfons X. tagte und die da versammelten Astronomen sich redliche Mühe gaben, alle neu aufgetauchten Schwierigkeiten und Verwickelungen, die die astronomischen Entdeckungen der Araber für das ptolemäische System erbracht haben, durch stetes Hinzufügen neuer Epizykeln zu den schon seit Ptolemäus eingeführten zu überwinden, der König in melancholischer Weise die Klage geäußert habe: „Wenn Gott mich bei der Erschaffung der Welt zu Rate gezogen hätte, wahrlich, es wäre manches besser geschaffen worden!“ Es möge dieser Klage hier Erwähnung geschehen, als der ersten, die als ein Zweifel an der unbedingten Richtigkeit der ptolemäischen Weltanschauung angesehen werden kann. Seitdem mehren sich auch diese Zweifel und viele Männer der nächsten Jahrhunderte bis auf Koppernikus erfaßt eine ähnliche Stimmung; die einen in dem Sinne, daß sie sich fragten, ob denn die Welt vom Schöpfer überhaupt so erschaffen worden, daß sie der Mensch mit seinem Denkvermögen erfassen und mit seinen Theorien nachgestalten könne, andere wiederum bloß im Zweifel an Ptolemäus.

Der Beginn und das erste Auftauchen dieses Zweifels leitet eine neue Ära in der Entwickelung der Astronomie ein, die Ära des Wiederauflebens des Studiums der astronomischen Hauptwerke des Altertums in den christlichen Ländern Europas, namentlich in Deutschland und Italien, die ihren Höhepunkt erreicht in der Aufstellung eines ganz neuen Weltsystems durch den genialen Koppernikus. Zunächst verkörpert sich diese neue Richtung in der Astronomie in zwei der bedeutendsten Gelehrten Italiens, in dem berühmten 1464 als Kardinal gestorbenen Nikolaus Krebs, der nach seiner Vaterstadt Cues bei Trier, gewöhnlich Nikolaus Cusanus genannt wird und in dem ebenso als Maler wie als Architekt, Physiker, Mathematiker und Astronom gleichhoch zu schätzenden Leonardo da Vinci. Beide zeigen das Bestreben, spekulativ ein neues Weltsystem zu ergründen, das das

alte ihnen fragwürdig erscheinende ersetzen soll. Sie bekämpfen dabei hauptsächlich die beiden Hauptsätze, die die Basis der griechischen Astronomie in ihrer Entwickelung bis auf Ptolemäus bilden und sich auf Aristoteles, ja vielleicht noch weiter zurück der Zeit ihrer Entstehung nach auf Pythagoras zurückführen lassen, nämlich die Lehre von der Vollkommenheit der Himmelskörper im Gegensatze zu der Vergänglichkeit der irdischen Elemente und die von der Vollkommenheit der ihnen zuzuschreibenden kreisförmigen Bewegungen gegenüber den geradlinigen der Körper auf der Erde. Die Erde ist ein Stern, wie viele andere Sterne am Himmel, heißt es bei ihnen. Die auf ihr beobachtete Zerstörung und Vergänglichkeit der Elemente ist nur ein Übergang aus einer Form in eine andere und vollzieht sich auf anderen Himmelskörpern ebenso wie auf der Erde. So wie den Menschen auf der Erde der Mond und die Sterne als Himmelskörper erscheinen, so würde auch den Menschen auf dem Monde oder anderen Sternen die Erde als Stern erscheinen. Die Beweglichkeit, heißt es weiter, ist eine allgemeine Eigenschaft aller Körper. Es gibt nichts Unbewegliches im weiten Weltall, also hat auch die Erde eine Bewegung, und sie kann auch eine vollkommene oder kreisförmige Bewegung haben, da sie ja ein Stern unter den anderen Sternen ist. Daraus, daß die Menschen diese Bewegung nicht wahrnehmen, folgt nicht, daß sie nicht vorhanden sei. Denn, sagt Nikolaus Cusanus, wüßte jemand nicht, daß das Wasser fließe und sähe er das Ufer nicht, würde er, auf einem auf dem Wasser hingleitenden Schiffe stehend, wahrnehmen, daß sich das Schiff bewegt? Jedem, er mag auf der Erde, oder der Sonne, oder einem anderen Sterne sich befinden, kommt es daher vor, als ob er im unbeweglichen Mittelpunkte stehe, während alles andere um ihn sich bewegt; auf der Sonne oder auf dem Mars stehend, würde er immer andere Pole der Bewegung angeben. Wie man sieht, sind dies Gedanken, durch welche beide Männer dem kommenden neuen Weltsystem des Koppernikus den Boden ebnen, wenn sie auch nicht direkt als dessen Vorläufer, vielmehr als die Vorläufer Galileis in seinem Kampfe gegen den starren dogmatischen Glauben an die Aristotelischen Lehren angesehen werden können.

Neben ihnen trugen zwei andere Männer, Georg Purbach aus Peuerbach in Oberösterreich, Professor der Astronomie an der eben erst gegründeten Universität in Wien und Wolfgang

Müller, der nach seiner Vaterstadt Königsberg in Franken sich Regiomontanus nannte, durch ihre rege astronomische Beobachtungstätigkeit und die Vervollkommnung und Verbesserung der alten ptolemäischen Rechnungsmethoden, namentlich durch die Ausbildung der Trigonometrie, zur Förderung und Hebung des Studiums der Astronomie in Deutschland und Italien bei und erleichterten damit den Übergang von dem alten in das neue Weltsystem des Koppernikus. Purbach gab in seinen Theoricae novae planetarum eine neue äußerst klare und lichtvolle Darstellung der alten ptolemäischen Planetentheorie und Regiomontan berechnet auf ihrer Grundlage Ephemeriden für die Sonne, den Mond und die Planeten, die 1475 im Drucke erschienen und den Zeitraum von 1475—1506 umfassen. Diese Ephemeriden spielten, besonders als sie durch Martin Behaim, einen Schüler Regiomontans, in die Hände der Spanier und Portugiesen kamen, eine wichtige Rolle bei den großen Seefahrten beider Völker. Sie wurden von Kolumbus auf seiner Entdeckungsfahrt benutzt, ebenso wie von Amerigo Vespucci. Sie führten Bartolomeus Diaz, wie Vasco de Gama auf dem neuen Seeweg um Afrika herum nach Indien. Sie dienten bei den ersten astronomischen Ortsbestimmungen für die Lage der neuen Länder, bei der Bestimmung der Grenz- oder Demarkationslinie zwischen dem spanischen und portugiesischen Besitzrecht, als welche nach einer päpstlichem Bulle vom Jahre 1493 die magnetische Linie mit der Deklination 0^0 dienen sollte.

Der Ruhm, den Regiomontan durch die Verfassung der Ephemeriden sich erwarb, war so groß, daß ihn der Papst aufforderte, nach Rom zu kommen, um den alten damals schon um 10 Tage falschen julianischen Kalender zu verbessern. Er folgte 1475 diesem Rufe, starb aber ein Jahr später, ohne seine Aufgabe zu vollenden. Seitdem verschleppte sich die notwendig gewordene Kalenderverbesserung, bis endlich 1583 Papst Gregor XIII. sie durch die nach ihm benannte gregorianische Kalenderreform zu Ende führte.

§ 25. Die Tätigkeit dieser Männer fällt schon in jene bekannte geistig bewegte Zeit, welche das Ende des Mittelalters und den Beginn der Neuzeit charakterisiert. Viele Ereignisse von kulturhistorischer Bedeutung vollziehen sich in ihr und bewirken durch das Niederreißen der engen Schranken der mittelalterlichen Scholastik einen allgemeinen Aufschwung aller Wissen-

schaften und nicht bloß der Astronomie. Vor allem ist die Eroberung Konstantinopels durch die Türken im Jahre 1453 und damit die endgültige Zerstörung des griechischen Reiches zu erwähnen. Die aus Konstantinopel teils flüchtenden, teils vertriebenen griechischen Gelehrten kommen mit den bei ihnen noch vorhandenen Resten ihrer Klassiker nach Italien und Deutschland, werden da mit großer Bereitwilligkeit aufgenommen und verbreiten die Kenntnis der griechischen Sprache und die Bekanntschaft mit ihren klassischen Schriften in erfreulicher Weise. Die Studenten der Astronomie konnten von nun an die griechischen Schriften im Original lesen und waren nicht mehr wie bisher auf die doppelte Übersetzung aus dem Griechischen ins Arabische und aus diesem ins Lateinische angewiesen. Das zweite bedeutende Ereignis ist die Erfindung der Buchdruckerkunst und damit in Verbindung die Leichtigkeit der Besorgung neuer Ausgaben wissenschaftlicher Werke, die Billigkeit ihrer Herstellung und in weiterer Folge ihre viel weiter reichende Verbreitung. Dies bewirkt, daß die literarischen und wissenschaftlichen Schätze nicht nur den Gelehrten, sondern auch den Laien zugänglich werden, und macht es erklärlich, daß die ersten gedruckten astronomischen Ephemeriden des Regiomontan in kurzer Zeit in zahlreichen Exemplaren von Nürnberg und Ulm aus bis nach Spanien und Portugal gelangten. Einen weiteren Antrieb zum Wiedererwachen der Wissenschaften und namentlich der Astronomie geben die großen ebenfalls in diese Zeit fallenden Entdeckungen, die des Seeweges nach Indien um Afrika herum durch die Portugiesen und die eines ganz neuen Kontinentes durch Kolumbus. Wie bekannt, waren diese großen Entdeckungen nicht zufällige sondern zielbewußte und planmäßig entworfene Fahrten. Sie waren hauptsächlich vorbereitet durch die erweiterte Kenntnis des östlichen Asiens, welche Mönche und reisende Kaufleute unter die weltverkehrenden Nationen des südwestlichen Europas verbreiteten. Die märchenhaften Schätze, die in jenen weit entfernten Ländern liegen sollten, machten es wünschenswert, einen kürzeren Weg zu ihnen aufzufinden, als es der Landweg war. Alle Stellen des Aristoteles, Strabo und Seneca, in denen von der Nähe des östlichen Asiens an den Säulen des Herkules als dem westlichsten Teil Europas gesprochen wird, waren Kolumbus bekannt. Der italienische Astronom Toscanelli verfertigte 1474 eine Karte, auf welcher der Weg nach dem äußersten Lande Asiens, der

Insel Zipangu, auf dem Atlantischen Ozean um vieles kürzer dargestellt war als die Küstenfahrt um Afrika, und diese Karte begleitete Kolumbus auf seiner ersten Fahrt nach den unbekannten Ländern. Andererseits fühlte man die Notwendigkeit, auf diesen weiten Fahrten nicht allein dem Kompaß zu vertrauen, sondern auch von den Sternen sich führen zu lassen, und suchte daher nach einer möglichst genauen Kenntnis der Gesetze der Bewegung der Himmelskörper. Jeder großen Expedition, die ausgerüstet wurde, gab man angesehene Astronomen mit. So schreibt die Königin Isabella an Kolumbus: Ob er gleich in seinem Unternehmen mehr wisse, als irgend ein Sterblicher, so rate sie ihm doch, den Fra Antonio als einen gelehrten Sternkundigen mitzunehmen. Und Kolumbus selbst äußert sich in der Beschreibung seiner vierten Amerikareise: „Es gibt nur eine untrügliche Schiffsrechnung, die der Astronomen, wer diese versteht, kann zufrieden sein; zum Schiffen gehört der Kompaß und das Wissen.“ Ebenso setzte König Johann von Portugal zur Förderung seiner wissenschaftlichen Unternehmungen einen Ausschuß von Astronomen ein, in welchen er den Nürnberger Martin Behaim, einen Schüler Regiomontans, berief. Er trug ihm auf, Tafeln für die Bewegung der Sonne zu berechnen und die Piloten zu lehren, nach Sonnen- und Sternhöhen zu schiffen. Astronomie und Nautik schienen so zwei sich gegenseitig bedingende Wissenschaften zu werden und tatsächlich wurden auch die Probleme, welche die Nautik in der Folge der Zeit noch an die Astronomie stellte, für diese von größter Bedeutung.

Parallel mit dieser Erweiterung des Wissens über die Erde und der damit erst zu voller Anerkennung gelangten Lehre von der Kugelgestalt derselben ging die geistige Erhebung der Völker durch die religiöse Reformation, die Luther in Deutschland begann, das Erwachen der religiösen Denkfreiheit. In letzter Linie und vielleicht als wichtigstes Ereignis kommt noch hinzu die große Umwälzung in der astronomischen Weltansicht, die durch das neu aufgestellte System des Koppernikus vollführt wurde. Fast 1500 Jahre hatte sich das ptolemäische System behauptet. Noch länger, fast 2000 Jahre haben die beiden grundlegenden Ideen des Aristoteles eine unumschränkte Herrschaft in der Astronomie ausgeübt, die Ideen, daß die Erde als eine träge, bewegungslose Masse im Mittelpunkte des Weltalls ruhe und daß sich die aus Äther, einem viel edleren Stoffe, als es die irdischen

Elemente sind, gebildeten Himmelskörper um sie in schwindelnd schnellem Umschwunge drehen. Trotz aller Angriffe, die schon im Altertume gegen diese Anschauungen erhoben wurden, war es nicht geglückt, sie zu beseitigen. Auch nicht dem Mittelalter und ebensowenig den Arabern und ihren Gelehrten gelang es, sie zu besiegen. Ja, sie hatten in dieser Zeit durch die Bestrebungen der Scholastiker die Sanktion der Kirche erlangt und Aristoteles und Ptolemäus waren fast als kirchliche Autoritäten anerkannt.

§ 26. Erst in Koppernikus verstärkte sich immer mehr und mehr die Überzeugung, daß das ptolemäische System nicht der Wahrheit entsprechen könne und durch ein anderes ersetzt werden müsse, das dem gesamten Universum eine bessere Symmetrie und eine harmonischere Verbindung seiner einzelnen Teile zu geben imstande sei. Geboren 1473 in der alten ehemaligen Hansastadt Thorn in Preußen, als Sohn eines reichen Kaufmanns und Neffe des Bischofs Watzelrode von Ermeland, studierte Koppernikus zuerst in Krakau, dann in Bologna, später in Rom und vertiefte sich in das Studium des Almagest und der neuen Arbeiten, die von Regiomontan und seinen Nachfolgern ausgingen. Nach Hause zurückgekehrt (1505) erhielt er kurz darauf die Stelle als Domherr zu Frauenburg und hatte so frei von materiellen Sorgen Zeit und Muße, seine gewonnenen Kenntnisse zu verwerten. Welche Anregung ihn veranlaßte, das ptolemäische System aufzugeben und den Versuch zu unternehmen, es durch ein anderes zu ersetzen, ist nicht bekannt. Wahrscheinlich waren es die großen Verwickelungen, die das alte System mit sich brachte, und trotz ihrer die geringe Übereinstimmung, welche die Theorie mit den beobachteten Bewegungen der Planeten zeigte. Daß er, einmal den Gedanken festhaltend, daß das ptolemäische System nicht das richtige sein könne, zum heliozentrischen greifen mußte, folgt aus seinem Studium der astronomischen Werke des Altertums. Er selbst zitiert mehrere Stellen, die ihn zu der neuen Lehre führten: „Ich gab mir alle Mühe“, sagt er, „die Bücher der Philosophen, deren ich habhaft werden konnte, von neuem zu lesen, um nachzusuchen, ob nicht irgend einmal einer der Ansicht gewesen wäre, daß andere Bewegungen der Himmelskörper existierten, als diejenigen annehmen, welche in den Schulen die mathematischen Wissenschaften lehren. Da fand ich denn zuerst bei Cicero, daß Hiketas von Syrakus geglaubt habe, die Erde

bewege sich. Nachher fand ich auch bei Plutarch, daß andere ebenfalls dieser Meinung gewesen seien. Hiervon Veranlassung nehmend, fing auch ich an, über die Beweglichkeit der Erde nachzudenken.“ Auch die heliozentrische Lehre des Aristarch von Samos kannte Koppernikus, dagegen waren ihm die der neueren Zeit schon angehörigen Ansichten des Kardinals Nikolaus Cusanus unbekannt.

Während seiner ganzen Lebenszeit gab sich Koppernikus in aller Stille seiner gewaltigen Arbeit hin und nur vereinzelte Zeichen von ihrem Fortgange und Erfolge ließ er an befreundete Fachgenossen gelangen. Trotzdem verbreitete sich die Nachricht, daß er an der Konstruktion eines ganz neuen Weltsystems arbeite, durch die ganze wissenschaftliche Welt. Der Kardinal Nikolaus Schomberg in Capua wußte schon 1536 davon und erbat sich eine Abschrift des ganzen Werkes. Ebenso interessierte sich der große kirchliche Reformator Philipp Melanchthon für die neue Lehre und dessen Nachfolger auf dem Lehrstuhle der Universität in Wittenberg, Georg Joachim Rhäticus, reiste 1539 zu Koppernikus, um aus seinem Munde den direkten Bericht über die Beweisgründe für seine neue Weltanschauung zu hören. Doch erst 1542 auf das Drängen seiner Freunde hin entschloß er sich, das Manuskript herauszugeben und es an Rhäticus nach Wittenberg zu senden. Dieser brachte es selbst nach Nürnberg, wo der Druck begonnen wurde. Im Jahre 1543 erschien das Werk unter dem Titel: Libri VI de Revolutionibus orbium coelestium, d. h. 6 Bücher von den Umlaufsbewegungen in den Bahnen der Himmelskörper in demselben Jahre, in welchem Koppernikus starb. Wie erzählt wird, sah er auf seinem Totenbette nur die ersten Aushängebogen, ohne sich mehr des ganzen Werkes erfreuen zu können.

Das Wesen der neuen Lehre, die Koppernikus in diesem Buche vorträgt, besteht in den folgenden zwei Hauptthesen:[1])

1. In der Annahme einer Rotation der Erde um eine Achse, die durch die Weltpole geht. Diese Drehung vollzieht sich binnen eines Tages und erklärt die tägliche Bewegung der Sterne am Himmel. Durch sie entfällt die 24stündige Drehung

[1]) Eine dritte Bewegung, die Koppernikus noch der Erde zuschreibt, nämlich eine kegelförmige Drehung der Erdachse selbst, mag hier übergangen werden, da sie in der Folge sich als falsch erwies.

der ganzen Fixsternsphäre. Alle Erscheinungen, die mit dieser Drehung zusammenhängen, wie die täglich von Sonne, Mond und den Sternen am Himmel beschriebenen Parallelkreise, ihre täglichen Auf- und Untergänge werden nicht als wirkliche Bewegungen, sondern als Täuschungen unseres Auges erklärt, hervorgerufen durch die Drehung der Erde von Westen nach Osten im entgegengesetzten Sinne zu dem, in welchem sich die Bewegungen am Himmel zu vollziehen scheinen. Die gewöhnlichen landläufigen Nachweise, die die Möglichkeit einer derartigen Täuschung erklärlich machen sollen, sind bekannt und schon Nikolaus Cusanus führt solche an. Denken wir uns sitzend in einem Eisenbahnwagen in Erwartung des Abganges des Zuges. Neben uns stehe ein anderer Zug. Jetzt setze sich der unsrige in Bewegung, langsam und sanft, so daß wir die auftretende Erschütterung nicht fühlen. Da überrascht uns die Täuschung, die uns glauben läßt, daß wir Fahrenden stehen, während der stehende Zug in einer unserer wirklichen Bewegung entgegengesetzt gerichteten zu fahren scheint. Dieselbe Täuschung ist es, die uns gegenüber den feststehenden Sternen am Himmel überkommt infolge der Drehung der Erde, von der wir nichts empfinden.

2. In der Annahme einer Bewegung der Erde um die Sonne. Durch sie wird in ähnlicher Weise, wie die tägliche Bewegung der Sterne, auch die jährliche Bewegung der Sonne, durch welche der Wechsel der Jahreszeiten entsteht, als eine scheinbare erklärt. Nicht die Sonne ist es mehr, die sich binnen eines Jahres um die Erde in dem schiefen Kreise der Ekliptik bewegt, sondern umgekehrt die Erde, die sich im entgegengesetzten Sinne zur scheinbaren Bewegung der Sonne um diese in derselben Zeit bewegt.

Diese zweite Annahme bildet den Hauptkern der koppernikanischen Lehre und zieht als notwendige Konsequenz zunächst die nach sich, daß nun nicht mehr die Erde sondern die Sonne als Mittelpunkt des Weltalls anzusehen sei (daher auch der Name heliozentrisches System) und als zweite die, daß sich die Planeten mit Ausnahme des Mondes nicht um die Erde sondern um die Sonne als Zentrum bewegen. Damit werden wieder die eigentümlichen Stillstände und Rückläufe, die seltsamen Schleifen und Schlingen in den Bahnen der Planeten als Täuschungen nachgewiesen, hervorgerufen dadurch, daß wir Menschen, die wir uns ebenso wie die Planeten in einem Kreise um die Sonne be-

wegen, sie stets von verschiedenen Orten im Raume beobachten. Ausgehend vom Saturn, als dem weitest entfernten Planeten, untersucht Koppernikus einzeln der Reihe nach die Stellungen und Bewegungen aller anderen am Himmel und zeigt, wie ihre sonderbaren Bahnen nur scheinbare sind, wie sie durch den verschiedenen Standpunkt des Beobachters auf der Erde infolge seiner Bewegung um die Sonne entstehen und sofort verschwinden und in reine kreisförmige übergehen würden, wenn man sie von der Sonne aus betrachten könnte. Er erklärt auch, warum die Rückläufe am größten sind und am wenigsten häufig auftreten beim Mars, kleiner, aber häufiger beim Jupiter, und dies noch mehr beim Saturn. Dagegen ist der Mond, bei dem solche Schleifen und Schlingen in seiner Bahn um die Erde nicht vorhanden sind, auch fernerhin der Erde zuzuzählen. Er ist daher als ein Planet zweiter Ordnung oder ein Trabant der Erde gegenüber den anderen Planeten als solchen erster Ordnung anzusehen.

Die folgende graphische Darstellung in den beiden Fig. 12a, b möge zeigen, wie die scheinbaren Verschiebungen in den rein kreisförmigen Bahnen der Planeten, die sie um die Sonne ausführen, durch ihre Beobachtung von der Erde aus hervorgerufen werden. Die erste Figur gelte dabei für einen Planeten, dessen Umlaufszeit um die Sonne etwa $^4/_3$ Jahre sei (Mars), die zweite einem, dessen Umlaufszeit 12 Jahre ist (Jupiter). In beiden Figuren bedeute S den Mittelpunkt der Sonne, und der kleine Kreis E die Bahn der Erde, wobei die einzelnen Punkte E_1, E_2, E_3 und E_4 ihre Stellungen nach je $^1/_4$ Jahre sein mögen, etwa E_1 ihr Ort am 1. Januar, E_2 am 1. April, E_3 am 1. Juli und E_4 am 1. Oktober. Die weiteren Kreise M und J bedeuten den Teil der Bahn, welchen der Planet M (bezw. J) während eines Jahres, d. h. während die Erde einmal um die Sonne läuft, beschreibt und M_1, M_2, M_3, M_4, sowie in der zweiten Figur J_1, J_2, J_3, J_4 seien die Orte der 2 Planeten zu denselben Zeiten, denen die Erdorte E_1 E_2 E_3 E_4 entsprechen. Außerdem stelle der äußerste Kreisbogen K einen Teil des Fixsternhimmels vor, speziell den Gürtel des Zodiakus, in dessen Ebene die Bewegungen der Planeten vor sich gehen. Steht die Erde in E_1, so wird der Planet M oder J von einem Erdbewohner in der Richtung der geraden Linie $E_1 M_1$ (resp. $E_1 J_1$) gesehen und es scheint, als ob er am Fixsternhimmel im Punkte K_1 wäre. Hat sich die Erde weiter bewegt und ist nunmehr in

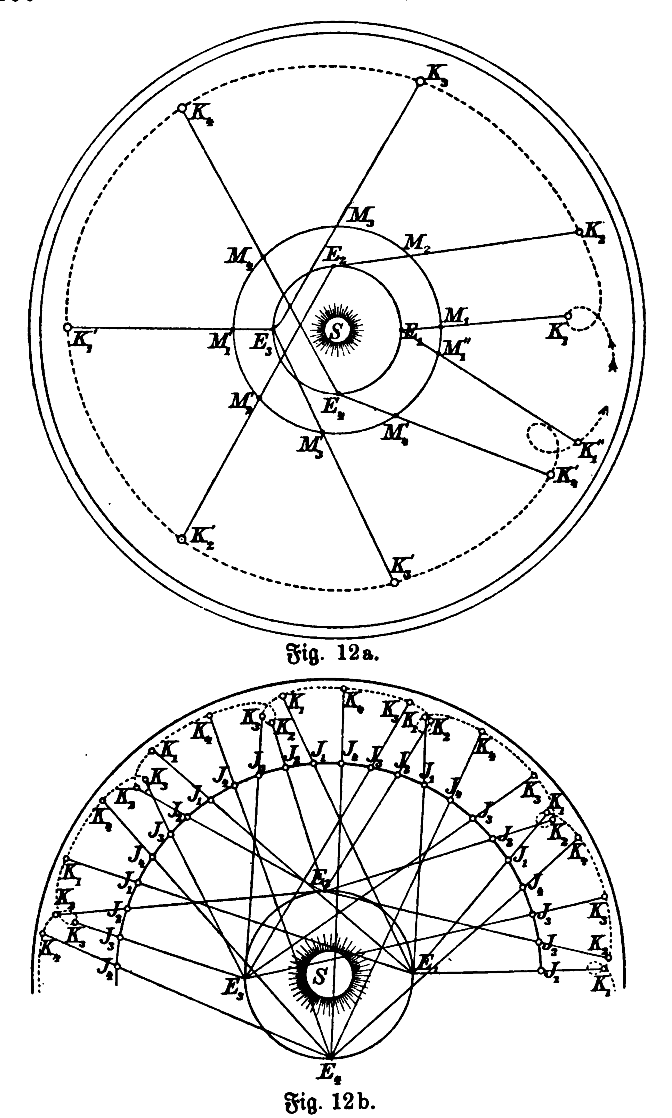


Fig. 12a.

Fig. 12b.

Fig. 12a, b. Die scheinbare Bahn eines Planeten am Himmel n. Koppernikus.
Geschwindigkeit der Erde E 360° in einem Jahre,
Fig. 12a. Geschwindigkeit des Planeten M 160° in einem Jahre,
Fig. 12b. Geschwindigkeit des Planeten J 28° in einem Jahre.

E_2, die Planeten dagegen in M_2 (J_2), so werden sie von der Erde aus in der Richtung $E_2 M_2$ oder $E_2 J_2$ gesehen und erscheinen am Fixsternhimmel in K_2, und ebenso für den dritten Erdort in K_3 und für den vierten E_4 in K_4. Während des des ersten Vierteljahres haben die 2 Planeten in Wirklichkeit die Bogen $M_1 M_2$ oder $J_1 J_2$, dagegen von der Erde aus gesehen die scheinbaren Wege $K_1 K_2$, im 2. Vierteljahre die Bogen $K_2 K_3$, im 3. $K_3 K_4$ usf. zurückgelegt und es zeigt sich deutlich die Unregelmäßigkeit, Ungleichförmigkeit, die Schleifenbildung, d. h. der Stillstand und Rücklauf des scheinbaren Planetenlaufes, trotzdem die wahre Bahn um die Sonne eine regelmäßige kreisförmige ist. Man sieht auch hier, wie im Falle der Erklärung der Schleifenbahnen nach der Epizyklentheorie des Ptolemäus leicht ein, wie die Häufigkeit der Schleifen während eines Umlaufs der Planeten um die Sonne von der Dauer ihres Umlaufes im Verhältnis zur Umlaufzeit der Erde abhängig ist. Neben der Häufigkeit der Schleifen ist noch die Größe der Schleifen ein maßgebender Faktor und man ersieht ebenso aus den beiden Figuren, wie diese hauptsächlich von dem Verhältnis der Distanzen Planet—Sonne und Erde—Sonne abhängig ist. Je weiter man den Planeten von der Erde annimmt, desto kleiner wird die Schleife, je näher, desto größer, während ihre Häufigkeit oder Anzahl während eines vollen Umlaufes der Planeten durch diese Wahl nicht tangiert wird. Daraus folgt, und dies ist einer der schönsten Gedanken in den Entwickelungen, die Koppernikus durchführt, daß man in der Größe der Schleife, die ein Planet scheinbar am Himmel beschreibt, ein Mittel habe, seine Distanz von der Sonne, natürlich nicht in einem absoluten Maße, sondern im Verhältnis zur Distanz der Erde von der Sonne anzugeben. Die nebenstehende Figur (13) möge die Art dieser Berechnung anschaulich machen. In ihr bedeutet der gezeichnete Bogen die Bahn eines Planeten am Himmel. Diese würde von der Sonne aus gesehen ein Teil eines Kreises sein, von der Erde aus gesehen, entsteht eine Schleife. In der älteren Theorie des Ptolemäus fand diese Schleife ihre Erklärung durch einen Epizykel, auf dem sich

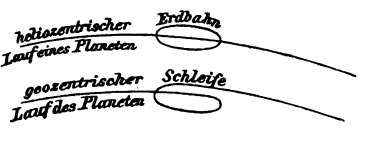


Fig. 13.

der Planet bewegte, während dessen Mittelpunkt auf dem Deferenten vorwärtsschritt. Nach der neuen Theorie des Koppernikus ist dieser Epizykel nichts anderes als das Abbild der Erdbahn und der Deferent die eigentliche Bahn des Planeten um die Sonne. Daher die interessante Gleichung:

> Verhältnis des Radius des Deferenten zu dem des Epizykel ist identisch mit dem Verhältnis der Distanzen des Planeten und der Erde von der Sonne.

Nimmt man den Radius der Erdbahn als Einheit an, so geben die ptolemäischen Zahlen für den Radius des Epizykels im Verhältnis zu dem des Deferenten direkt die Distanzen der Planeten von der Sonne an; und zwar für die oberen Planeten:

Mars $a = 1 : 0{,}658 = 1{,}52$,
Jupiter $a = 1 : 0{,}192 = 5{,}21$,
Saturn $a = 1 : 0{,}109 = 9{,}18$,

dagegen für die unteren Planeten, für die der Deferent mit der Erdbahn und der Epizykel mit ihrer wahren Bahn zu identifizieren ist

Venus $a = 0{,}720$,
Merkur $a = 0{,}375$,

ausgedrückt, wie erwähnt, in Einheiten der Erdbahn um die Sonne, für welche Koppernikus die ptolemäische Zahl 1210 Erdhalbmesser als richtig annimmt.

Koppernikus durchbrach bei der Aufstellung seines neuen Weltsystems nur eines der beiden aristotelischen Prinzipien, das nämlich, daß die Erde im Mittelpunkt des Weltalls ruhe. Das zweite Prinzip, daß die Bahnen der Planeten Kreise sein müssen, blieb weiter aufrecht bestehen. Um die Ungleichförmigkeiten in den Bewegungen der Planeten wie auch des Mondes oder der Erde um die Sonne zu erklären, Ungleichförmigkeiten, die sich, wie schon bekannt, in veränderlichen Geschwindigkeiten oder ungleichen Zwischenzeiten zwischen den Hauptmomenten der Bewegung äußern, mußte er daher wieder zu den exzentrischen Kreisen und wo diese nicht ausreichten, zu Epizykeln, ja beim Monde sogar bei der Erörterung der Evektion zu einem Epiepizykel greifen, d. h. zu einem Epizykel, dessen Mittelpunkt sich auf einem zweiten Epizykel bewegte, dessen Mittelpunkt erst wieder einen exzentrischen Kreis um die Erde beschrieb. In dieser Richtung bot das System nur wenig neues, wenngleich nicht

zu verkennen ist, daß auch hier Koppernikus sich als ein Reformator erwies und mannigfache Verbesserungen einführte. In gleicher Art waren die Vorteile, die es einem Rechner gewährte, der sich die Aufgabe stellt, den Ort eines Planeten am Himmel oder gar eine Ephemeride vorauszurechnen, nur gering. Der ganze anzuwendende Rechnungsmechanismus ist nämlich nach beiden System fast vollständig identisch. Nach dem ptolemäischen hat man vorerst den Ort des Planeten im Epizykel und dann den Ort seines Mittelpunktes auf dem Deferenten und durch Kombination beider den Ort des Planeten am Himml aufzufinden; nach dem neuen wiederum den Ort der Erde in ihrem Laufe um die Sonne, dann den des Planeten in seinem Laufe um die Sonne und durch Verbindung beider den geozentrischen, d. h. den von der Erde aus gesehenen Ort des Planeten am Himmel festzustellen.

Aber das Bild, das das neue System dem Geiste bietet, ist ein ganz anderes. Nach Ptolemäus konnte man sich von den Entfernungen der Planeten von der Sonne keine Vorstellung machen. Nur die Distanzen Sonne—Mond—Erde waren bekannt. Man kannte wohl die Verhältniszahlen der Radien der Epizyklen zu denen der Deferenten. Wie groß letztere selbst sind, wußte man nicht und war in ihrer Bestimmung auf mehr oder weniger phantastische Spekulationen angewiesen. Die koppernikanische Auffassung brachte mit einem Schlage volle Klarheit. Sie gab die Distanzen und damit ein wohlgeordnetes Ganzes. Dort — vollständige Regellosigkeit, da alle Planeten durcheinandergehen konnten, hier — ein geregeltes System, dessen mechanische Triebkraft nur noch unbekannt war. Daß auch hierin Koppernikus klar gesehen hat, mögen folgende Worte aus seinem Buche bezeugen: „Diejenigen, welche die exzentrischen Kreise ersannen, konnten die Hauptsache, nämlich die Gestalt der Welt und die sichere Symmetrie ihrer Teile weder finden noch aus jenen berechnen. Es ging ihnen so, als wenn jemand von verschiedenen Orten her Hände, Füße, Kopf und andere Glieder zwar sehr schön, aber nicht im Verhältnisse zu einem einzigen Körper gezeichnet, nähme und, ohne daß sie sich irgend entsprächen, vielmehr ein Monstrum als einen Menschen daraus zusammensetzte."

Hierin liegt auch der hauptsächlichste und schlagende Beweis, durch welchen Koppernikus seine Lehre rechtfertigt. Weitere

treffende Gründe oder direkte sinnliche Beweise fehlen ihm gänzlich. In gleicher Art stützt er den Beweis, den er für die Drehung der Erde um ihre Achse gegenüber der alten Annahme einer 24stündigen Drehung der Fixsternshpäre anführt, nur auf Wahrscheinlichkeitsschlüsse. Man glaubt, sagt er, daß die Erde im Mittelpunkte des Weltalls sich befinde und hält eine gegenteilige Ansicht für lächerlich. Und doch, woher wissen wir es, daß die Erde stehe und die Himmel sich bewegen und daß nicht vielmehr das Umgekehrte stattfinde? Wenn wir die unermeßlich große Distanz der Himmelskörper in Betracht ziehen, so können wir es uns kaum vorstellen, daß diese einen so riesigen Weg in 24 Stunden zurücklegen. Und warum sollte sich auch das unendliche Universum um die winzig kleine Erde drehen?

Dagegen sind die Einwendungen, die gegen die Richtigkeit seiner Lehre erhoben wurden, recht zahlreich. Der erste und hauptsächlichste Einwand liegt darin, daß man sagte, die neue Lehre verwirre die Begriffe, Ruhe und Bewegung. Tatsächlich brachte erst das galileische Gesetz der Trägheit hier volle Klarheit. Ein zweiter Einwand bestand darin, daß, da die Erde bei ihrem jährlichen Umlaufe um die Sonne sich einzelnen Sternen der Fixsternsphäre bald nähere, bald wieder sich von ihnen entferne, auch diese eine ähnliche scheinbare Bewegung zeigen müßten wie die Planeten, wodurch ihre gegenseitige Stellung keine fixe, sondern eine veränderliche würde, oder kurz, daß die Fixsterne parallaktische Verschiebungen ihrer Orte am Himmel aufweisen müßten. Die nebenstehende Figur (14) mag dies verdeutlichen. In ihr stelle der Halbkreis HH die Fixsternsphäre vor; EE die Ebene der Ekliptik und E_1, E_2, E_3, E_4 die Erdbahn selbst. Befindet sich die Erde in E_1, so erscheint einem Beobachter auf ihr der Stern S in S_1; befindet sich die Erde in E_2, so glaubt der Beobachter den Stern in S_2 zu sehen, ebenso in S_3 und S_4, wenn die Erde in ihrer Bahn um die Sonne nach E_3 und E_4 gelangt. Während eines Jahres scheint also der Stern den Epizykel $S_1 S_2 S_3 S_4$ in entgegengesetztem Sinne zur wahren Bewegung der Erde zu durchlaufen. Da aber nichts derartiges am Fixsternhimmel wahrgenommen werde, dieser im Gegenteil durch die Unveränderlichkeit in den gegenseitigen Stellungen der Fixsterne das Bild einer vollständigen Starrheit biete so kann die Bewegung der Erde nicht wahr sein. Koppernikus antwortet auf diesen Einwand durch die kühne

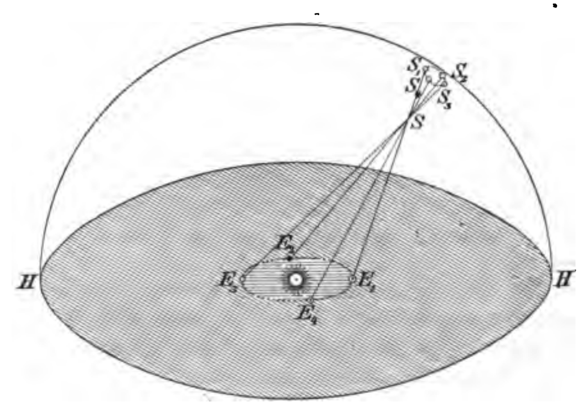


Fig. 14. Die parallaktische Bewegung eines Fixsternes nach Koppernikus.

Behauptung, daß die Entfernungen der Fixsterne von der Erde riesig groß seien gegenüber der Dimension der Erdbahn. In der Tat sind dann die von den Erdorten E_1, E_2, E_3, und E_4 nach dem Stern gezogenen Sehlinien als parallel anzusehen und der scheinbare Epizykel verschwindet. „Er, sagt in dieser Richtung Bessel, der es gewagt hatte, eine von den Vorstellungen seiner Zeit gänzlich verschiedene Weltordnung zu begreifen, hatte kein Bedenken, die Entfernungen der Fixsterne für so groß anzunehmen, daß, von ihnen gesehen, der von der Erde um die Sonne durchlaufene Raum aus den Augen verschwinde, so groß er auch erscheinen mag, wenn er mit einem irdischen Maße gemessen wird."

Trotzdem stellten sich die beobachtenden Astronomen nach Annahme des koppernikanischen Systems die Aufgabe, solche scheinbare Bewegungen oder parallaktische Verschiebungen der Fixsterne zu suchen und manche neue Entdeckung verdankt die Astronomie gerade dieser Tätigkeit.. Aber alle diese Arbeiten bestätigten nur die Richtigkeit der Behauptung Koppernikus', die der Grenzenlosigkeit, um nicht zu sagen, Unendlichkeit des Weltalls.

V. Die Neuzeit.

§ 27. Die koppernikanische Lehre nahm der Erde ihre bevorzugte Stellung im Weltenraume und verurteilte sie gleich den anderen Planeten zu einem unaufhörlichen Laufe um die Sonne, nur daß sie zum Unterschiede von jenen bei diesem Laufe im Monde einen treuen Begleiter hatte. Wie ein Kulturhistoriker sich hierzu äußert, machte sie aus ihr und den geschichtlichen Begebenheiten auf ihr ein Provinztheater niederen Ranges, während sie bisher ein Hoftheater ersten Ranges gewesen. Darin liegt ebenso ihre kulturhistorische Bedeutung wie auch der Punkt, welcher der kirchlichen Macht der gefährlichste schien und gegen den sich ihr erster Angriff wandte.

Melanchthon, der als Freund des Koppernikus dessen Werk zur Drucklegung empfohlen hatte, erklärte trotz dieser Freundschaft, die Autorität der heiligen Schrift spräche gegen die Annahme der Theorie der Erdbewegung. Luther äußerte sich in seiner bekannten derben Art über Koppernikus: „Der Narr will die ganze Kunst Astronomiä umkehren! Aber wie die Heilige Schrift anzeigt, so hieß Josua die Sonne stillstehen und nicht das Erdreich.“ Immerhin stellten sich beide und nach ihnen alle protestantischen Theologen wohl feindlich, aber doch nicht hindernd der Verbreitung der Lehre des Koppernikus entgegen. Papst Paul III., dem das Werk des Koppernikus gewidmet war, nahm die Widmung an und auch sein Nachfolger Gregor XIII. erwartete von ihm die ersehnte Verbesserung des Kalenders. Der katholische Klerus war so zunächst der neuen Lehre freundlich gesinnt. Denn sie schien mehr einer geistreichen Hypothese zu gleichen, als der Wirklichkeit zu entsprechen. Man hielt sie anfänglich auch nur für eine Hypothese, die sagt, wie man sich die Bewegungen der Planeten darstellen könne, aber nicht gerade müsse. Veranlaßt wurde diese seltsame Anschauung durch das Begleitwort, welches der ersten Auflage des koppernikanischen Buches beigegeben war

und von einem sonst unbekannten Manne Osiander herrührt. In ihm wird dem Gedanke Ausdruck gegeben, daß Koppernikus seine Lehre nur als eine Hypothese vorgetragen habe, die weder wahr, noch auch wahrscheinlich zu sein brauche, sondern nur den Zweck habe, die Beobachtungen mit der Rechnung in bessere Übereinstimmung zu bringen. Daß aber diese Vorrede die Tendenz des koppernikanischen Werkes direkt verfälscht, folgt aus der von Koppernikus selbst geschriebenen Widmung an Papst Paul III. Sie beginnt mit den Worten, daß der Verfasser sich wohl bewußt sei, als er das Werk verfaßt habe, daß es, veröffentlicht, an vielen Orten Anstoß und Ärgernis erregen werde, da es die viele Jahrhunderte hindurch zu Recht bestehende Unbeweglichkeit der Erde aufzuheben trachte. Der Begründer unseres jetzigen Weltsystems, sagt Humboldt im Kosmos, war durch seinen Mut und die Zuversicht, mit welcher er auftrat, fast noch ausgezeichneter als durch sein Wissen. Er verdient in hohem Grade das schöne Lob, das ihm Keppler gibt, wenn er ihn den „Mann freien Geistes“ nennt.

Erst gegen den Anfang des 17. Jahrhunderts trat ein Umschwung in den Meinungen der katholischen Theologen ein, der dann aber auch sofort in einen stürmischen Kampf gegen die Verbreitung der koppernikanischen Lehre als einer äußerst gefährlichen, den Glauben schädigenden Neuerung überging. Am 24. Februar 1616 wurde von der Inquisition das Gutachten abgegeben: „Behaupten, die Sonne stehe unbeweglich im Zentrum der Welt, ist absurd, philosophisch falsch und ketzerisch, da es im ausdrücklichen Widerspruch zur heiligen Schrift steht. Behaupten, die Erde stehe nicht im Zentrum der Welt, sei nicht unbeweglich, sondern habe sogar eine tägliche Rotationsbewegung, ist absurd, philosophisch falsch und zum mindesten ein irriger Glaube.“ Infolgedessen wurde das Buch des Koppernikus auf den Index gesetzt, in die Liste der verbotenen Schriften. Neben ihm teilten das gleiche Schicksal Kepplers „Epitome astronomiae coppernicanae“ und Galileis „Dialoge über die zwei großen Weltsysteme“. Sie verblieben im Index bis 1835.

Die Verbreitung der Lehre des Koppernikus war anfangs eine schwache. Der schon genannte Rhäticus, dann Reinhold, Professor in Wittenberg, waren seine ersten Parteigänger. Reinhold berechnete unter Zugrundelegung der neuen Lehre Tafeln, die unter dem Namen „Tabulae prutenicae“ dem Herzog

Albrecht von Preußen gewidmet, 1551 im Drucke erschienen, die Grundlage der gregorianischen Kalenderreform (1583) bildeten und auch von Astronomen häufig verwendet wurden, bis die Rudolfinischen Tafeln Kepplers 1627 sie verdrängten. Zu siegreichem Durchbruche gelangte das koppernikanische System erst durch die Tätigkeit dreier Männer; dies waren Tycho Brahe, der, zwar ein Gegner desselben, durch seine reichhaltige Beobachtungstätigkeit jedoch zu einem unfreiwilligen Förderer des Systems wurde, dann Johannes Keppler, der es von den letzten Spuren aristotelischer Dogmatik befreite und die wahren Gesetze der Planetenbewegungen fand und endlich Galileo Galilei, der die glückliche Idee hatte, das eben von ihm konstruierte Fernrohr gegen den Himmel zu richten und durch die damit gemachten überraschenden Entdeckungen das System ebenso sehr stützte, wie es später durch seine meisterhafte Dialektik verteidigte, endlich noch durch seine Untersuchungen über die Grundgesetze der Mechanik der Newtonschen Entdeckung den Boden ebnete.

§ 28. Tycho Brahe wurde 1546 als der Sohn eines dänischen Edelmanns geboren. Er wendete sich schon frühzeitig und gegen den Willen seiner Eltern astromonischen Studien zu. Wie erzählt wird, war er dazu angeregt durch die Erscheinung einer Sonnenfinsternis im Jahre 1560, deren Vorausberechnung ihn so sehr überraschte, daß er sich äußerte: Es müßte etwas Göttliches sein, daß man die Bewegungen der Sterne so genau zu erkennen vermöge, um lange vorher ihre gegenseitige Stellung zu bestimmen. Zunächst studierte er den Almagest. Dann kamen ihm auch die Alfonsinischen, wie die prutenischen Tafeln in die Hand und mit letzteren erlangte er Kenntnis von dem koppernikanischen Weltsystem. Er beobachtete viel, obwohl nur mit ganz unvollkommenen rohen zum Teile selbst verfertigten Instrumenten und es zeigte sich ihm durch diese Beobachtungen bald, wohl zu seiner eigenen Überraschung, daß die vorausberechneten Orte der Planeten in allen diesen Tafeln sehr von den wirklichen Orten am Himmel abwichen. Er kam so zu der Überzeugung, daß die nächste Aufgabe der Astronomie nicht darin bestehe, neue Systeme aufzustellen, ohne die Möglichkeit zu haben, sie tiefer zu begründen, als vielmehr darin, durch andauernde genaue und sorgfältige Beobachtungen eine bessere Kenntnis von dem Laufe der Planeten zu erlangen, und erst auf dieser Grundlage eine neue Weltanschauung aufzubauen.

Der Ausführung dieser Aufgabe widmete er von da ab seine ganze Lebenstätigkeit.

Nach längeren Reisen, die ihn über Deutschland bis nach Italien und der Schweiz führten und auf denen er fortwährend zahlreiche Bobachtungen anstellte, so daß sein Ruhm und Ansehen als Astronom immer mehr und mehr stieg, wurde er von König Friedrich II. von Dänemark (1576) mit der kleinen Insel Hveen im Sunde belehnt und reichlich mit Geld zur Errichtung einer Sternwarte beschenkt Hier baute er die Uranienborg, später noch die Stjerneborg, versah sie mit den besten Justrumenten und gab sich ganz einer ausgebreiteten Beobachtungstätigkeit hin, umgeben von einem Stabe ausgezeichneter Mitarbeiter. Viele Tausende von Ortsbestimmungen von Mond, Sonne, den Planeten und Sternen wurden da ausgeführt. Mit dem Tode seines besonderen Gönners, des Königs Friedrichs II., 1588, nahm jedoch die Herrlichkeit ein Ende. Die für den minderjährigen König Christian eingesetzte vormundschaftliche Regierung war ihm nicht mehr günstig gesinnt. Sie setzte die ihm bewilligten Geldmittel herab. Auch sonst fanden seine Feinde und Neider bei ihr mehr Gehör als er und verleideten ihm seine Anwesenheit und Tätigkeit auf Hveen immer mehr und mehr. Trotzdem blieb er noch bis 1597 auf Hveen. Dann verließ er sein undankbares Vaterland und wurde von Kaiser Rudolf II. in Prag mit offenen Armen aufgenommen. Hier wirkte er bis zu seinem Tode 1601 in voller Beschäftigung mit Beobachtungen und ihrer theoretischen Verwertung. Hier hatte er auch das Glück, in Keppler einen jungen Astronomen an sich heranzuziehen, der die Tauglichkeit besaß, seine Gedanken und Pläne über die Reformation der Astronomie auszuführen.

Das Hauptverdienst Tycho Brahes liegt in der Sammlung eines zahlreichen Beobachtungsmaterials. Doch verdankt ihm die Astronomie außerdem zahlreiche andere wichtige Errungenschaften. Diese liegen, was die praktische Tätigkeit der Astronomen anlangt, in der Verbesserung und Verfeinerung der Beobachtungsinstrumente und in der Erfindung neuer und der Vervollkommnung älterer Beobachtungsmethoden. Er war der erste unter den beobachtenden Astronomen, der die Wichtigkeit erkannte, auch die Fehler in der Aufstellung eines Instrumentes kennen zu lernen und die durch sie entstehende Unvollkommenheit der Be-

obachtung zu korrigieren. Jede mit irgend einem Instrument angestellte Beobachtung ist nur als ein rohes Ergebnis der Empirie anzusehen, das erst von allen ihr anhaftenden Schlacken, Fehlern der Aufstellung sowie Fehlern im Visieren infolge der Strahlenbrechung in der Luft, befreit werden muß, um theoretisch verwendet werden zu können. Alles dies bewirkte, daß die Beobachtungsergebnisse Tychos weitaus die Genauigkeit aller seiner Vorgänger und Zeitgenossen übertrafen.

Das erste Instrument, das man in den Anfängen der astronomischen Beobachtungskunst zu Messungen am Himmel verwendete, war der Gnomon, d. h. der schattenwerfende Stab. Wahrscheinlich waren die ägyptischen Obelisken solche Gnomone. Dann kamen die Armillarsphären, Zusammenstellungen von Kreisen, die eine Nachbildung des kugelförmigen Himmels waren, mit den auf ihm angenommenen Hauptkreisen, wie Meridian, Äquator und Deklinationskreis. Hipparch wird die Entdeckung zugeschrieben, sie mit Diopteru, Absehvorrichtungen, versehen zu haben, durch die eine schärfere Einstellung der Sehlinie nach dem Sterne erzielt werden konnte. Die Veränderlichkeit des Äquators infolge der Präzession brachte es mit sich, daß man an den Armillarsphären statt des Äquatorkreises die unveränderliche Ekliptik anbrachte. Solche Instrumente hießen Astrolabien. Die Araber, die sich besonders durch den Bau von Instrumenten in äußerst gewaltigen Dimensionen auszeichneten, verwendeten ferner statt der ganzen Kreise Teile von solchen. So entstanden die Azimutalquadranten und Sextanten, die besonders Tycho verwendete. Regiomontan erfand den Jakobs- oder Kreuzstab, ein äußerst einfaches und sinnreiches Instrument, das frei in der Hand gehalten werden konnte und daher seine Hauptanwendung fand auf dem schwankenden Boden der Schiffe, auf dem sich Quadranten und Astrolabien nicht befestigen ließen. Mit einem solchen Instrumente wurden vom 15. Jahrhundert an bis 1750 alle Höhenmessungen ausgeführt, die zu geographischen Ortsbestimmungen auf hoher See nötig waren Die mit diesen Werkzeugen der Beobachtungskunst erzielte Genauigkeit war jedoch nur eine geringe. Sie ging höchstens auf 10′ in einer Winkelmessung. Tycho erst gelang es, solche Verbesserungen vorzunehmen, daß sich die Genauigkeit bis auf 1′ erhöhte.

Die Fortschritte in der theoretischen Astronomie sind die folgenden:

1. Eine vollständige Klarstellung der Präzession und Verwerfung der Trepidation. Er findet aus seinen Beobachtungen der beiden Sterne Spica und Regulus und ihrem Vergleich mit denen des Timocharis und Ptolemäus als jährliche Änderung ihrer Längen 49″ und 53″, hat aber trotzdem die richtige Meinung, daß dieser Unterschied nur in der Ungenauigkeit der älteren Beobachtungen liege und es daher ganz und gar unnötig sei, eine Unregelmäßigkeit in der Präzession anzunehmen. Für die jährliche Größe der Präzession nimmt er 51″ an.

2. Seine Untersuchungen über Kometen und deren Bahnen am Himmel. Glücklicherweise fielen in die Lebenszeit Tychos die Erscheinungen von 6 Kometen, 1577, 1582, 1585, 1590, 1593 und 1596 und dazu noch 1572 die aufsehenerregende des Auftauchens eines neuen Sternes, die, wie es scheint, mit der Erscheinung der Sonnenfinsternis von 1560 eine der äußern Anregungen war, die ihm zum Studium der Astronomie führte. Keppler sagt in dieser Richtung: Wenn der neue Stern nichts anderes zu tun vermochte, so hat er doch der Welt einen großen Astronomen gegeben. Tycho weist nach, daß die Kometen keine merkliche Parallaxe haben und daher sich weit außerhalb der Mondbahn befinden. Mit diesem Nachweise wird der aristotelischen Schule ein empfindlicher Schlag versetzt. Es wird damit bewiesen, daß die Kometen nicht, wie Aristoteles meint, Produkte der irdischen Atmosphäre seien und sich ganz innerhalb der Mondbahn wenig weit von der Erde bewegen, sondern im Gegenteile, daß sie selbständige Himmelskörper sind, denen bestimmte Bahnen im Raume zukommen. Es wird ferner damit bewiesen, daß trotz der gegenteiligen Ansicht des Aristoteles, auch in den Regionen des Äthers, jenseits des Mondes neue Körper wie Kometen und neue Sterne entstehen und daß somit das Prinzip des Entstehens und Vergehens nicht einzig an die irdischen Elemente gebunden sei, sondern auch im Reiche des Äthers sich vorfinde. Schließlich werden die Kristallsphären der Alten, an denen die Himmelskörper angeheftet sein sollen, soweit man noch an deren reale Existenz glaubte, endgültig durchbrochen. Das Ansehen, das Tycho genoß, war so groß und die ausgezeichnete Genauigkeit seiner Beobachtungen so bekannt, daß seitdem niemand mehr auf Gedanken ähnlicher Art kam und damit die berüchtigen aristotelischen Ideen endgültig aus der Astronomie entfernt wurden.

Tycho Brahe war ferner der erste, der es versuchte, aus Beobachtungen die Bahn eines Kometen am Himmel zu bestimmen. Er wurde damit der Wegweiser für Keppler. Tycho findet, daß sich der Komet von 1577 in einer Kreisbahn um die Sonne bewege, daß aber seine Geschwindigkeit in dieser Bewegung keine konstante sondern eine veränderliche sei. Er meint jedoch, daß auch die Annahme zulässig erscheine, daß wohl die Geschwindigkeit eine gleichmäßige, dagegen wieder die Bahn keine kreisförmige sondern eine länglich ovale sei. Damit wird zum ersten Male in der Astronomie die Möglichkeit zugegeben, daß sich Himmelskörper auch in anderen als kreisförmigen Bahnen bewegen können.

Die Beobachtungen über die Kometen und deren Bahnen am Himmel regten Tycho auch zu neuen Gedanken über den Bau des ganzen Weltalls an. Das ptolemäische System schien ihm zu verwickelt, um an seiner Richtigkeit zu glauben, das neue koppernikanische System wieder zu wenig mit den physikalischen Gesetzen im Einklang, da es der trägen und schweren Erde eine Bewegung zuschreibe, andererseits auch im Widerstreite mit einigen Stellen der heiligen Schrift stehe, was ihm unmöglich schien. Ihm als hochbesoldeten und vielfach beneideten Günstling des Königs wäre es auch übel vermerkt worden, wenn er sich direkt als Anhänger des ketzerischen Systems des Koppernikus erklärt hätte. So kam er denn, wie er sagt, fast durch Eingebung auf ein ganz neues System, das im wesentlichen in den folgenden Annahmen besteht: Die Erde ist der Mittelpunkt des Weltalls. Sonne und Mond bewegen sich in Kreisen um sie, um die Sonne die fünf Planeten, Merkur und Venus in Kreisen, deren Halbmesser kleiner, und Mars, Jupiter und Saturn in Kreisen, deren Radius größer als der der Sonnenbahn ist, die also die Erde umschlingen. Das ganze System ist endlich eingeschlossen von der Sphäre der Fixsterne, die sich in 24 Stunden um diese Bahn dreht und dabei alle eingeschlossenen Himmelskörper mit sich reißt, so daß auch diese an der 24stündigen Drehung teilnehmen. Die Vorteile, welche dieses neue System bot, lagen darin, daß es die Schwierigkeiten physikalischer Natur umging, welche in der Bewegung der Erde um die Sonne und in der Rotation um ihre Achse liegen sollten. Sonst blieb alles beim Alten. Epizykeln und exzentrische Kreise mußten wieder zur Erklärung der Ungleichheiten herangezogen werden.

§ 29. Wesentlich anders als die Lebensverhältnisse des Koppernikus und Tycho waren die Kepplers. Mit Hindernissen und Widerwärtigkeiten, um nicht zu sagen materiellen Sorgen kämpfend, wiederholt von der religiösen Unduldsamkeit der Gegenreformation in den österreichischen Ländern bedrängt, dann wieder in seine Heimat eilend, seine Mutter zu verteidigen, die Gefahr lief, als Hexe verbrannt zu werden, verbrachte er sein Leben. Destomehr ist die Beharrlichkeit und Ausdauer zu rühmen, mit der er seine astronomischen Ziele verfolgte. Geboren 1571 zu Weil in Württemberg, kam Johannes Keppler 1589 an die Universität in Tübingen, wo er von Mästlin in die Geheimnisse des koppernikanischen Systems eingeweiht wurde. Nach vollendeten Studien ging er 1594 als Professor der Mathematik nach Graz. Hier erschien sein erstes Werk, das Mysterium cosmographicum, durch das er mit Tycho und Galilei in brieflichen Verkehr kam. Im Jahre 1600 von Graz vertrieben, wurde er von Tycho in Prag als Gehilfe angestellt und nach dessen Tode von Kaiser Rudolf II. als Nachfolger Tychos zum Hofastronomen und kaiserlichen Mathematiker ernannt mit dem Auftrage, die von Tycho begonnenen Arbeiten zu vollenden. Ein bescheidener Gehalt war ihm angewiesen im Betrage von 1500 Gulden, aber auch dieser nicht regelmäßig ausgezahlt. In Prag verlebte Keppler 11 Jahre bis zum Tode Kaiser Rudolphs, 1612. In diese Zeit fällt die Glanzepoche seiner wissenschaftlichen Tätigkeit. Dann ging er als Professor der Mathematik nach Linz, wo er bis 1624 lebte. Wegen der Auszahlung seines rückständigen Gehaltes, die Rückstände betrugen 10000 Gulden, an Wallenstein verwiesen, reiste er zu diesem nach Sagan. Aber auch von ihm erhielt er den Gehalt nicht ausgezahlt und er machte sich nunmehr auf den Weg nach Regensburg, um vor dem dort versammelten Reichstag sein Recht zu fordern. Allein, kaum hier angekommen, erkrankte er und starb 1630.

Das Erstlingswerk Kepplers, das Mysterium cosmographicum, das 1596 in Tübingen im Drucke erschien, bewegt sich ganz in pythagoräischen und platonischen Ideen über die Harmonie des Weltalls.

Keppler versucht es, die Dimensionen der Planetenbahnen aus den Größen der fünf regelmäßigen oder platonischen Körper, Tetraeder, Hexaeder (Würfel), Oktaeder, Dodekaeder und Ikosaeder und den Radien der ihnen ein- und umschriebenen Kugeln zu

berechnen. Nach mehreren Versuchen findet er eine Reihenfolge derselben derart, daß, wenn die einem Körper eingeschriebene Kugel eine Planetenbahn umspannt, die ihm umschriebene Kugel wieder von einer zweiten Planetenbahn umspannt wird, bis endlich alle Planetenbahnen und alle Körper an die Reihe kommen. Er erzielte auch eine ganz zufriedenstellende Genauigkeit zwischen den so berechneten und den von Koppernikus angegebenen Werten für die Radien der Planetenkreise. Etwa auftretende größere Differenzen schrieb er der Unsicherheit der koppernikanischen Angaben zu.

Ein Versuch ähnlicher Art, der in das Gebiet der mystischen Zahlenspielereien gehört, ist die 1766 von Titius aufgestellte Regel, nach der die Distanzen der Planeten von der Sonne sich durch die folgende Reihe darstellen lassen sollen:

Merkur	0,4	wirkliche Distanz	= 0,387	
Venus	0,4 + 1 × 0,3 = 0,7	" "	= 0,723	
Erde	0,4 + 2 × 0,3 = 1,0	" "	= 1,000	
Mars	0,4 + 4 × 0,3 = 1,6	" "	= 1,524	
—	0,4 + 8 × 0,3 = 2,8		—	(Gruppe der Planetoiden)
Jupiter	0,4 + 16 × 0,3 = 5,2	" "	= 5,203	
Saturn	0,4 + 32 × 0,3 = 10,0	" "	= 9,539	
Uranus	0,4 + 64 × 0,3 = 19,6	" "	= 19,183	
Neptun	0,4 + 128 × 0,3 = 38,8	" "	= 30,055	

Wie man sieht, gibt diese Reihe für die älteren Planeten eine ziemlich gute Übereinstimmung, so lange es sich bei den Zahlenangaben um die erste Dezimalstelle handelt. Sie gilt auch noch für den Uranus. Neptun aber fällt ganz aus der Reihe heraus. Sie weist ferner auf eine Lücke zwischen Mars und Jupiter hin und regte dadurch zu eifrigem Nachforschen nach dem unbekannten Planeten an, der sich in dieser Distanz um die Sonne bewegen sollte. Hierin liegt ihr einziges Verdienst.

Auch für Keppler hatte das Mysterim cosmographicum nur den Erfolg, daß es die Aufmerksamkeit Tychos auf ihn lenkte und er von ihm nach Prag berufen wurde, um an den großen Reformationsplänen der Astronomie, denen Tycho seine ganze Lebenstätigkeit gewidmet hatte, mitzuarbeiten. Kurze Zeit dauerte nur diese gemeinsame Tätigkeit. Aber nach dem Tode Tychos wurde Keppler der ganze von jenem hinterlassene Beobachtungsschatz übergeben und mit dieser Übergabe begann das streng wissenschaftliche Streben Kepplers, das ihn zur Entdeckung der

wahren Gesetze der Bewegungen der Planeten führte. Der Weg, den er dabei betrat, war der Weg der reinsten Induktion, nur die koppernikanische Lehre, daß die Bewegungen der Planeten um die Sonne erfolgen, ward als richtig vorausgesetzt, nicht, wie es Tycho wollte und ihm noch kurz vor seinem Tode auftrug, die Tychonische Anschauung.

§ 30. Keppler begann seine Untersuchungen mit dem Planeten Mars. Von 12 von Tycho beobachteten Oppositionen wählte Keppler 4 aus und untersuchte, ob diese vier Marsorte in einem gegen die Sonne exzentrisch anzunehmenden Kreise liegen. Nach mehreren Annahmen über die Größe der Exzentrizität und die Lage der Apsidenachse zeigt sich ihm, daß die Kreishypothese den Beobachtungen nicht genüge. Er wendet sich daher von der Berechnung der Marsbahn weg, vorerst zu einer genauen Feststellung der Erdbahn. Das Verfahren, das er da einschlägt, ist ein äußerst geistreiches.

Fig. 15. Die Berechnung der Erdbahn nach Keppler.

Es sei E ein Ort der Erde zur Zeit einer Opposition zwischen der Sonne S und dem Mars M so daß SEM eine Gerade ist. Da der Mars nach 1 Jahr 322 Tagen einen vollen Umlauf um die Sonne beschreibt, so kommt er nach dieser Zeit wieder an denselben Punkt des Himmels in bezug auf Sonne und Fixsterne, wiewohl die Erde einen anderen Ort E_1 in ihrer Bahn einnimmt und daher auch Mars einen anderen scheinbaren oder geozentrischen Ort am Himmel hat. In dem so entstehenden Dreiecke ME_1S geben nun die Beobachtungen alle Winkel, nämlich die heliozentrische Länge des Mars, dessen geozentrische Länge und die geozentrische Länge der Sonne und man kann daher nach trigonometrischen Regeln das Verhältnis der Seiten $SE_1 : SM$ berechnen. Nach einem weiteren Umlauf des Mars d. i. nach einer weiteren Zwischenzeit von 687 Tagen befindet sich Mars wieder an derselben Stelle des Himmels, die Erde aber an einer anderen, etwa in E_2, und da die Rechnungsbedingungen für das neue Dreieck SE_2M die gleichen sind wie für das alte SE_1M, so erhält man das neue Verhältnis $SE_2 : SM$,

ebenso nach einem dritten Umlauf $SE_3 : SM$, nach einem vierten $SE_4 : SM$, im allgemeinen so viele der Verhältnisse $SE : SM$ als Beobachtungen sich vorfinden, die stets um 687 Tage von einer beliebig gewählten Opposition als Ausgangsepoche differieren. In dieser Art berechnet sich Keppler die Distanzen der Erde von der Sonne für verschiedene Zeitmomente, SE_1, SE_2, SE_3 usw., zunächst bezogen auf SM als eine willkürliche Maßeinheit, und die ihnen entsprechenden Längen gegen den Frühlingspunkt. Indem er nach Vollendung dieser Rechnungen auf die Winkeldifferenzen eingeht und die Größe der Flächen SE_1E_2, SE_2E_3, SE_3E_4 usw. bestimmt, zeigt sich ihm das Resultat, daß diese den Zwischenzeiten proportional sind. Er erhält so das erste Gesetz der Bewegungen der Planeten, das er durch die Worte ausdrückt: Die vom Radiusvektor des Planeten in seinem Laufe um die Sonne in verschiedenen Zeiten beschriebenen Flächen sind diesen Zeiten proportional, oder die in gleichen Zeiten beschriebenen einander gleich. Mit Hilfe dieses Gesetzes ist er in der Lage, eine vollständige Tafel der Distanzen der Erde von der Sonne für alle Tage des Jahres aufzustellen. Dann erst geht er wieder zum Mars über. Er stellt sich auch hier die Aufgabe, in analoger Weise wie für die Erde auch eine Tafel des Mars zu rechnen.

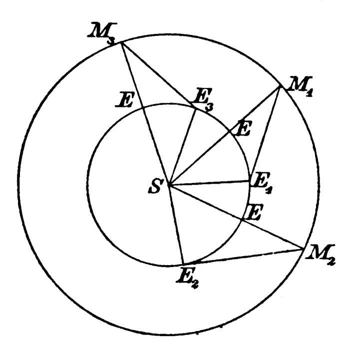


Fig. 16. Die Berechnung der Marsbahn nach Keppler.

Da er nunmehr die Erdorte als bekannt annehmen kann, so gibt jede beobachtete Opposition des Mars verschiedene Marsorte, M_1, M_2, M_3 usw. und aus den jeweiligen Dreiecken SE_1M_1, SE_2M_2, SE_3M_3 kann er so viele Distanzen SM_1 SM_2 SM_3 usw. berechnen, als beobachtete Oppositionen vorliegen. Er versucht, die so gefundenen Distanzen in eine krumme Linie hineinzupassen, die dann die wahre Bahn des Mars wäre. Es beginnt mit der Hypothese eines exzentrischen Kreises, findet aber, daß diese nicht genügt. Dann führt er eine Art Ovallinie ein, die sich in den Apsiden an den Kreis anschließt, in den mittleren

Distanzen aber mehr vom Kreise abweicht. Auch diese genügt nicht. Endlich verfällt er auf die Ellipse und diese erst gibt ihm die ersehnte volle Übereinstimmung in den Distanzen sowohl wie in den Längen, und so konnte er das zweite Gesetz aussprechen: Die Bahn des Mars um die Sonne ist eine Ellipse, in deren einem Brennpunkte sich die Sonne befindet. Beide Gesetze wendet er schließlich auf die übrigen Planeten an und erhält auch für sie eine solch hinreichende Übereinstimmung zwischen den beobachteten und berechneten Planetenorten, daß er die Gültigkeit dieser zwei Gesetze für alle Planeten auszusprechen in der Lage ist. „Lange", schreibt er in der Einleitung zu seinem großen Werke „Astronomia nova de motibus stellae martis", Prag 1609, in dem er diese seine Resultate veröffentlicht, „hat Mars den Bemühungen der Astronomen standgehalten, jedoch der treffliche Heerführer Tycho hat in 20jährigen Nachtwachen alle seine Kriegslisten erforscht und aufgezeichnet. Dadurch ermutigt, habe ich, Keppler, es unternommen, die Stellen, wo sich Mars befindet, mit Tychonischen Werkzeugen genau zu erforschen und mit Hilfe der Mutter Erde umging ich alle seine Krümmungen. Mars hat endlich meine Herzhaftigkeit eingesehen, die Feindschaft aufgegeben und sich treu gezeigt."

Keppler deutet auch die Lösung der umgekehrten Aufgabe an, die nämlich, aus dem nunmehr bekannten Laufe eines Planeten in einer Ellipse dessen Ort am Himmel zu berechnen. Die Größen, deren Kenntnis zur Ausführung dieser Rechnung nötig ist, und die die Lage und Größe der Ellipse im Raume feststellen, nennt er die Bahnelemente des Planeten. Er definiert als solche 1. die große Halbachse der Ellipse OP, 2. ihre Exzentrizität und zwar die numerische Exzentrizität gleich dem Verhältnis der Strecken $OS:OP$, 3. die Lage der Durchschnittslinie der Bahnebene mit der Ekliptik, oder, wie man in der Astronomie gewöhnlich sagt, der Knotenlinie KSK, gegeben durch den Bogen KF als den Abstand des Knotens K vom Frühlingspunkte F auf der Ekliptik; 4. den Neigungswinkel der Bahnebene gegen die Ekliptik, d. i. den Winkel PSE; 5. die Lage der großen Achse oder des Perihels des Planeten in der Bahn, bestimmt durch den Bogen PK oder den Winkel PSK; 6. die Zeit, zu der der Planet sich im Perihel befindet. Statt der letzteren wird oft der Ort des Planeten in seiner Bahn zu einer beliebigen anderen Zeit, die man dann die Ausgangsepoche nennt, angegeben. Die Kenntnis

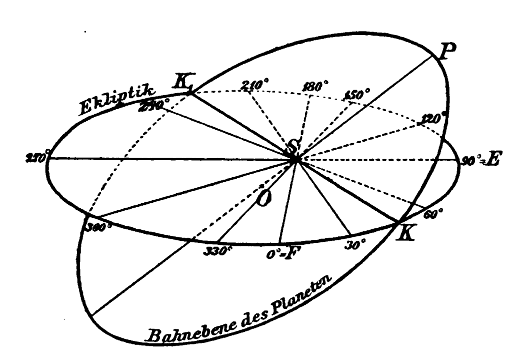


Fig. 17. Die Bahnelemente eines Planeten.

dieser 6 Größen bringt einen Rechner in die Lage, für jede kommende und ebenso für jede vergangene Zeit den Ort eines Planeten am Himmel feststellen zu können.

Keppler zeigt weiter noch aus dem Vergleiche der Tychonischen Beobachtungen mit den älteren des Ptolemäus, daß viele dieser Elemente nicht konstant, sondern fortschreitenden Veränderungen unterworfen seien.

Schließlich beschäftigte sich Keppler auch noch mit dem Monde. Doch waren die Schwierigkeiten, die sich ihm da entgegenstellten, unüberwindbar. Eine reinelliptische Bahn reichte nicht aus, um alle bekannten Unregelmäßigkeiten zu erklären, und er sah sich daher genötigt, die verpönten Epizykeln nochmals zu Hilfe zu rufen und mit diesen alle die Ungleichheiten empirisch auszugleichen. Seine Mondtheorie leistet mithin weitaus nicht mehr das, was seine Planetentheorien leisteten. Hier griff erst Newton ein, indem er den ursächlichen Zusammenhang aller dieser Anomalien in der Mondbewegung aufdeckte, doch gelang auch ihm nur eine approximative Lösung, und eine vollständige Mondtheorie ist bis heute noch ein Wunschgegenstand der Astronomen.

Sofort nach Vollendung aller dieser umfassenden Rechnungen wandte sich Keppler der Konstruktion neuer Planetentafeln zu, die er im Auftrage Kaiser Rudolfs II. auszuführen hatte. Die prutenischen Tafeln zeigten schon Abweichungen, die für den Mars bis 3^0, für die Venus auf 5^0 und den Merkur auf 10^0 angewachsen waren und die Notwendigkeit neuer Tafeln war allgemein anerkannt. Keppler unterzog sich dieser gewaltigen

Arbeit und brachte sie in den „Rudolfinischen Tafeln" zur Vollendung. Sie erschienen 1627 in Ulm als die ersten Tafeln, die sich auf die neuen Planetentheorien gründeten und in würdigster Weise die Tätigkeit Kepplers krönten. Über ein Jahrhundert lang waren sie der Ratgeber der praktischen Astronomen.

Durch die Entdeckung der elliptischen Bewegung der Planeten um die Sonne hatte sich die im Mysterium cosmographicum ausgeführte Idee, die Ordnung im Bau des Weltalls aus den 5 regelmäßigen Körpern abzuleiten, nicht bestätigt. Es gab keine Planetenkreise, also auch keine Umhüllungen derselben durch die diesen Körpern ein- und umschriebenen Kugeln. Trotzdem greift Keppler noch immer auf analoge Gedanken zurück. Die Überzeugung, daß es ein oberstes Gesetz geben müsse, welches alle Planetenbahnen organisch miteinander verbindet und die Harmonie im Weltbau darstellt, lebte so stark in ihm, daß er nichts unversucht lassen wollte, es aufzufinden. Nur die Ausführung dieser Versuche wurde eine andere. Er kombinierte die Umlaufszeiten der Planeten, ihre Distanzen von der Sonne, oder die großen Achsen der Ellipsen, die sie um die Sonne beschreiben, und endlich ihre Geschwindigkeiten in mannigfachster Art miteinander, gelangte aber zu keinem einfachen Ergebnis. Endlich kam er auf den Gedanken, die Zahlen, welche die Umlaufszeiten der Planeten und die großen Achsen ihrer Bahnen angeben, auf verschiedene Potenzen zu erheben und diese miteinander zu vergleichen. Da zeigte sich ihm das längst ersehnte, aber auch mit großer Zuversicht erwartete einfache Resultat, das seitdem das dritte Kepplersche Gesetz genannt wird. Es lautet: Die zweiten Potenzen der Umlaufszeiten der Planeten verhalten sich so wie die dritten Potenzen der großen Achsen ihrer Bahnellipsen, oder auch der Quotient, gebildet aus den dritten Potenzen der Achsen dividiert durch die zweiten der Umlaufszeiten hat für alle Planeten einen und denselben Wert. „Nach langen vergeblichen Anstrengungen," sagte er mit einem ihm wohlanstehenden Stolze in seinem Buche Harmonices mundi, Linz 1619, in dem er dies sein Gesetz veröffentlicht, „erleuchtete mich endlich das Licht der wunderbarsten Erkenntnis. Ich habe ans Licht gebracht, daß die ganze Natur der Harmonie in ihrem ganzen Umfange und mit allen ihren Einzelheiten in den himmlischen Bewegungen vorhanden ist, nicht

zwar in der Weise, wie ich es mir früher gedacht, sondern in einer ganz anderen durchaus vollkommenen Weise."

Die folgende Tafel möge zeigen, wie genau selbst durch die Kepplerschen Zahlen für die Umlaufszeiten und großen Achsen, die keineswegs noch auf vollständigste Richtigkeit Anspruch erheben, das neue Gesetz bestätigt wird:

	T=Umlaufszeit in		große Achse $= a$	T^2	a^3	$a^3 : T^2$
	Tagen	Jahren				
Saturn	10 759,20	29,457	9,510	867,720	860,089	0,9912
Jupiter	4 332,62	11,862	5,200	140,709	140,608	0,9993
Mars	687,00	1,881	1,524	3,538	3,539	1,0006
Erde	365,25	1,000	1,000	1,000	1,000	1,0000
Venus	224,70	0,615	0,724	0,3785	0,3795	1,0027
Merkur	87,97	0,241	0,388	0,0580	0,0584	0,0069

Ein großes Verdienst um die Astronomie erwarb sich Keppler ferner noch dadurch, daß er der erste war, der darauf aufmerksam machte, daß der für die Parallaxe der Sonne angenommene Wert von 3′ zu groß sei. So vorurteilslos Tycho Brahe sonst gegen alle von alters her übernommenen numerischen Daten für astronomische Größen vorging und sich bestrebte, eine Astronomie frei von jeder Hypothese zu begründen, so sah er doch die alte ominöse Zahl „19", welche das Verhältnis der Distanzen von Sonne und Mond zur Erde angeben sollte und seit Aristarch durch volle zwei Jahrtausende die Astronomie beherrschte, als absolut richtig an. Er setzte die Entfernung des Mondes von der Erde zu 52 Erdhalbmessern, jeden zu 860 deutschen Meilen, an, was einer Parallaxe von 66′ entspricht, und die Distanz Sonne—Erde 20mal größer, woraus als Sonnenparallaxe 3′ folgt. Erst Keppler stiegen bei seiner Diskussion der Tychonischen Beobachtungen Zweifel gegen die Richtigkeit dieser Zahl auf und in den von ihm herausgegebenen Ephemeriden für das Jahr 1619 sprach er den Wunsch nach einer Neubeobachtung dieser Größe aus. So gibt er den Astronomen ein neues Problem zur Lösung auf, der sich auch das folgende Jahrhundert, unterstützt durch das Fernrohr, mit Eifer hingab.

§ 31. Neben diesen rechnerischen Leistungen Kepplers sind jedoch nicht seine physikalischen Anschauungen zu vergessen, die ihn zum Vorläufer Newtons in der Entdeckung der allgemeinen

Gravitationskraft stempeln, sowie seine kosmischen Vorstellungen über die Natur der Sonne und die Verteilung der Sterne am Himmel, die, in seiner „Epitome astronomiae coppernicanae“ veröffentlicht, bei seinen Zeitgenossen fast größeres Interesse erregten, als seine 3 Gesetze. „Kosmische Betrachtungen“, sagt Humboldt, „selbst die, welche nicht auf Beobachtungen, sondern auf schwache Analogien gegründet sind, fesselten damals, wie oft noch jetzt, die Aufmerksamkeit mehr als die wichtigsten Ergebnisse der rechnenden Astronomie.“

Die Sonne ist der Hauptkörper, das Herz des Universums, das Licht und Wärme ausstrahlt und die Bewegung der Planeten regelt. Sie bildet mit diesen ein besonderes System von Körpern und befindet sich im Mittelpunkte einer ungeheuren Höhlung, deren äußere aus Glas oder Kristall bestehende Hülle die Sphäre der Fixsterne ist. Diese Hülle reflektiert das Sonnenlicht und auch die Sonnenwärme, so daß sie wie eine das Universum vor Wärmeverlust schützende Haut wirkt. Auf ihr liegen die Sterne, im allgemeinen in ziemlich gleichmäßiger Verteilung, nur an einer Stelle in Form eines Ringes rund um die Sphäre dichter zusammengedrängt und damit den Erdbewohnern den Anblick der Milchstraße bietend. Andererseits, meint Keppler fast im Widerspruch mit den eben angeführten Ansichten, ist es jedoch möglich, daß die Sonne nichts anderes sei als ein Fixstern, der uns nur deshab heller und glänzender als andere erscheine, weil er uns bedeutend näher ist. Ebenso können auch die anderen Sterne Sonnen sein, um die sich Planeten bewegen. Weder die eine noch die andere Ansicht folgt mit Notwendigkeit aus der koppernikanischen Lehre, da diese nur die Bewegung der Planeten untersuchen will, aber nichts über die Natur der Fixsterne aussage.

Sowie diese Vorstellungen sind auch seine Gedanken über die Kräfte, welche die Bewegung der Planeten um die Sonne hervorrufen, erwähnenswert. Sein großes spekulatives Bedürfnis wollte sich nicht mehr mit dem platonischen Problem einer rein geometrischen Erklärung dieser Bewegungen begnügen, sondern forschte schon nach physikalischen Gründen für sie. Die Planetenmaterie ist von Haus aus träge und jeder Planet würde an dem einmal angenommenen Ort verbleiben, wenn nicht ein Impuls ihn zu einer Ortsveränderung zwänge. Mit diesem Satze spricht er wohl das Gesetz der Trägheit für den Fall der Ruhe

aus, dagegen aber erscheint ihm der Gedanke von der Unzerstörbarkeit der Bewegung, von ihrer ewigen und unbegrenzten Fortdauer, wie es das vollständige Gesetz der Trägheit verlangt, unfaßbar. Er konstruierte sich daher einen recht komplizierten Mechanismus, um den Lauf der Planeten um die Sonne zu erklären. Zuerst vergleicht er die von der Sonne ausgehende Kraft mit der Ausbreitung des Lichtes, meint aber, daß sie doch nicht mit dem Lichte identifiziert werden könne, weil sie nicht so wie das Licht von undurchsichtigen Körpern überwunden werde, sondern leuchtende und dunkle in gleicher Art durchdringe. Man könne dies ersehen aus dem Laufe des Mondes, der von der dunklen oder nur sehr wenig leuchtenden Erde bewegt werde. Dann vergleicht er sie mit der anziehenden Kraft eines Magneten, wenngleich auch hier ein Unterschied bestehe, darin, daß sich die Anziehungen eines magnetischen Eisens nach allen Richtungen des Raumes gleichmäßig ausbreiten, die der Sonne aber nur in einer bestimmten Ebene auftreten, nämlich in der Ekliptik, in der sich alle Planeten um die Sonne bewegen. Solche magnetische Strahlen mögen es sein, die dem Inneren der Sonne aber nur in ihrem Äquator als dem einzigen Wirkungsort wie Fühlfäden entströmen, durch die rotierende Sonne im Kreise herumgeführt werden und dabei die Planeten mit sich reißen, so daß diese stets geschlossene Bahnen um sie beschreiben und zwar nach ihrer größeren oder geringeren Schwere mit kleinerer oder größerer Geschwindigkeit. Sowie endlich solche Strahlen von der Sonne ausgehen und die Umläufe der Planeten hervorrufen, so gehen ebensolche auch von der Erde aus zur Fortbewegung des Mondes und genau dieselben Strahlen sind es auch, die alle Körper auf der Oberfläche der Erde anziehen, daß sie ihrer Stütze beraubt, zur Erde fallen. Hiermit ist zum ersten Male dem Gedanken Ausdruck gegeben, daß die Schwere der Körper auf der Erde als Wirkung ihrer Anziehung mit den Anziehungskräften, die zwischen Sonne und Planeten wirksam sind, identisch sei.

§ 32. Parallel mit der Tätigkeit Kepplers, durch welche die wissenschaftliche Begründung des koppernikanischen Systems geliefert wird, ging die Galileis, welche die schlagenden und anschaulichen Beweise für dasselbe erbrachte. Im Mai des Jahres 1609 lief durch die ganze gebildete Welt die Nachricht, daß man in Holland ein Instrument erfunden habe, das ge-

statte, auch entferntere Gegenstände deutlich zu sehen. Diese Nachricht kam auch nach Venedig, wo Galilei, damals Professor in Padua, zufällig anwesend war. Er sann darüber nach, wie ein derartiges Instrument wohl konstruiert sein mochte und nach einigen Versuchen glückte ihm dessen Konstruktion. Als er die Augen dem Rohre näherte, sah er, wie er erzählt, die Gegenstände etwa 3mal näher und 9mal größer, als wenn er sie mit unbewaffnetem Auge betrachtet hätte. Sofort richtete er das Instrument gegen den Himmel und Wunder über Wunder offenbarte sich da seinem erstaunten Auge. Kaum 10 Monate nach der Verbreitung des Gerüchtes von der Entdeckung des Fernrohres in Holland, erschien er mit seinem „Nuntius sidereus“, dem Boten aus der Sternenwelt, vor der gelehrten Welt, in welchem er getreuen Bericht von seinen Entdeckungen am Himmel erstattet. Zuerst erregte natürlich der Mond seine Neugierde. Er lenkte das Fernrohr gegen ihn, erkannte den gebirgigen Charakter seiner Oberfläche, der vollkommen den Bergen und Gebirgszügen auf der Erde vergleichbar sei. Er erwähnt, wie insbesondere der böhmische Kessel, aus einer großen Entfernung betrachtet, einen ganz ähnlichen Eindruck auf den Beobachter hervorbringen dürfte, wie ein Ringgebirge auf dem Monde. Er zeigt schließlich auch, wie man die Höhe der Mondberge aus der Länge ihres Schattens berechnen könne. Er durchforscht weiter den ganzen Sternenhimmel, sieht in den Plejaden nicht mehr 7, sondern 40 Sterne und bestätigt namentlich die alte Ansicht des Demokrit, daß der Glanz der Milchstraße nur durch den vereinigten Schimmer unzähliger größerer und kleiner Fixsterne entstehe. Sodann richtet er sein Instrument gegen den Jupiter, erkannte dessen Kugelgestalt, sah ferner in seiner Umgebung 4 kleinere Sternchen, die in wenigen Stunden ihre Stellungen zueinander und zum Jupiter änderten und in wenigen Tagen vollständige und regelmäßige Umläufe um ihn beschrieben. Es sind dies seine 4 Monde. Diese Entdeckung, deren Tragweite er bald erkannte, war die erste, die er in richtiger Weise als eine Bekräftigung des koppernikanischen Systems deutet. Zunächst aus dem Grunde, daß diese kleine Welt mit ihren 4 Monden dem geistigen Blick wie ein kleines Abbild des Sonnensystems erscheint, um so mehr, als auch die Größenverhältnisse der Monde gegenüber dem Jupiter als Zentralkörper sehr augenfällig den Größenverhältnissen der Erde und der Planeten gegenüber der

Sonne entsprechen. Weiter dann auch noch aus dem Grunde, daß durch diese Entdeckung der Erde ihre letzte Bevorzugung, die sie noch besaß, nämlich auf ihrem ewigen Laufe um die Sonne von einem Monde begleitet zu werden, genommen wurde. Es folgte die Entdeckung der merkwürdigen Gestalt des Saturn, dessen wahre Form von ihm mit seinem unvollkommenen Fernrohr noch nicht erkannt, sondern die erst von Huyghens 1659 erklärt wurde. Dann kam die Entdeckung der Sonnenflecken, bei der ihm die Priorität der Jesuit Christoph Scheiner in Ingolstadt vorwegnahm. Auch die letzte Entdeckung erregte bedeutendes Aufsehen, da sie die alte aristotelische Ansicht, daß alle Himmelskörper die Eigenschaft vollkommenster Reinheit und Ungetrübtheit an sich tragen, widerlegte. Galilei erkannte, daß diese Flecken nicht, wie noch Scheiner glaubt, vielleicht mehr unter dem Drucke der gerade von seinem Orden so konsequent aufrecht erhaltenen aristotelischen Lehren als aus Überzeugung, selbständige sich um die Sonne bewegende Körperchen seien, sondern dem Sonnenkörper selbst angehören. Er versuchte aus ihrer Bewegung an der Sonnenoberfläche die Rotationsdauer und die Rotationsachse derselben zu bestimmen.

Die letzte und bedeutungsvollste Entdeckung war die der Sichelgestalt oder Phase der Venus. Sowie der Mond vermöge seiner verschiedenen Stellungen gegen Erde und Sonne seine Gestalt scheinbar ändert, bald als Sichel am Abendhimmel erscheint, dann immer voller werdend, endlich als vollbeleuchteter Kreis während der ganzen Nacht sichtbar ist, um wieder abnehmend in neuer Sichelform in verkehrter Lage am Morgenhimmel zu erscheinen und schließlich ganz in den Strahlen der Sonne zu verschwinden, worauf sich das Spiel nach einem vollen Mondumlauf wiederholt, ebenso müßten auch die inneren Planeten Merkur und Venus in ihrem Laufe um die Sonne gleiche Phasen zeigen. Bei den äußeren, Mars, Jupiter und Saturn, die sich außerhalb der Erdbahn um die Sonne bewegen, treten wohl auch derartige Phasen auf, aber in bedeutend geringerem Maße. Zu ihrem deutlicheren Erkennen sind schärfere Hilfsmittel nötig, als sie Galilei besaß.

Durch alle diese Entdeckungen verbreitete sich der Ruhm Galileis immer mehr. Aus dem mit einem Jahresgehalt von 450 Lire besoldeten Professor der Mathematik in Padua wurde (1610) der „erste Lehrer der Mathematik an der Hochschule

zu Pisa mit dem Titel eines ersten Mathematikers und Philosophen des Großherzogs von Toskana und einem Jahresgehalt von 1000 Skudi". Der toskanische Hof war ihm günstig gesinnt. Das Leben ließ sich ihm so an, daß beste Aussicht zu einer steten Förderung seiner wissenschaftlichen Bestrebungen vorhanden zu sein schien. Doch bei aller Hofgunst, die ihm lächelte, ruhten seine Feinde nicht. Da es ihnen nicht glückte, ihn mit den Waffen der Wissenschaft zu besiegen, so suchten sie ihn beim Großherzog zu verdächtigen, hauptsächlich dadurch, daß sie die Ansicht verbreiteten, daß alle seine neuen Wahrnehmungen zu sehr zugunsten der ketzerischen koppernikanischen Lehre sprechen und daher beim Papste Ärgernis erregen dürften. In dem Wunsche, das Oberhaupt der Kirche mit dieser Lehre auszusöhnen, und in der Überzeugung, daß sie doch mit der traditionellen Religion in Einklang gebracht werden könne, ging Galilei nach Rom, wo er vielen kirchlichen Würdenträgern und auch dem Papste sein Fernrohr und alle damit zu sehenden Wunderdinge am Himmel vorwies. Er erzielte einen günstigen Erfolg und mit Beifallsbezeugungen überhäuft kehrte er wieder nach Pisa zurück voll froher Hoffnung, alle Hindernisse beseitigt zu haben und die koppernikanische Weltanschauung an Stelle der alten überlieferten setzen zu dürfen. Trotzdem wurden die Angriffe seiner Gegner immer kühner, namentlich als er sich durch seine Fehde mit Scheiner (1613), der ihm die Priorität der Entdeckung der Sonnenflecken streitig machte, die Feindschaft des Jesuitenordens zuzog. Dieser brachte es endlich dazu, daß die koppernikanische Lehre von der doppelten Bewegung der Erde von der heiligen Kongregation als eine ketzerische der heiligen Schrift widersprechende erklärt und jede Verbreitung derselben verboten wurde. Alle Gelehrten, unter ihnen natürlich auch Galilei, wurden von diesem Verbote verständigt. Galilei unterwarf sich ihm ohne Widerrede.

Im Jahre 1623 bestieg der Kardinal Bellarmin, bisher ein Freund und Gönner Galileis, den päpstlichen Stuhl. Damit erachtete dieser einen günstigen Zeitpunkt erlangt zu haben, ein schon lange vorbereitetes Werk zu veröffentlichen, seine berühmten „Dialoge über die zwei größten Systeme der Welt, das ptolemäische und koppernikanische", deren Lektüre noch heute von Interesse ist und bestens empfohlen werden kann. In ihnen stellt Galilei mit meisterhafter Vollständigkeit und Eleganz alle

Beweisgründe für das System des Koppernikus zusammen. Drei Personen treten in ihnen auf, Salviati, als begeisterter Anhänger des Koppernikus, der etwas einfältig charakterisierte Simplicius als unbedingter Anhänger des Ptolemäus, der keine andere Autorität und keine andere Erkenntnisquelle anerkennt als Aristoteles und seine Lehren, und Sagredo, ein wissensdurstiger Laie, der belehrt werden will. Galilei erhielt die Erlaubnis zur Drucklegung des Buches. Es erschien 1623 in Florenz und brachte ihm neuen Ruhm und viel Beifall zu. Andererseits regten sich wieder seine Gegner und verleumdeten ihn beim Papste dadurch, daß sie diesem die Meinung beibrachten, mit dem einfältigen Simplicius sei er selbst kennzeichnet. Damit erregten sie auch tatsächlich den Zorn des Papstes gegen ihn.

Weder das Ansehen, dessen sich Galilei in der wissenschaftlichen Welt erfreute, noch die Gunst des toskanischen Hofes, schützten ihn. Im Jahre 1632 trat auf Befehl des Papstes eine Spezialkongregation zusammen, die ein definitives Urteil über das Buch Galileis fällen sollte. Dies Urteil fiel ungünstig aus und so begann jener Inquisitionsprozeß, der für Galilei ein beklagenswertes Ende nahm, aber auch der kirchlichen Macht wegen der Unduldsamkeit, die sie damit bewies, nicht zum Lobe gereicht. Galilei, nach Rom zitiert, erschien im April 1633 zum ersten Male vor dem geistlichen Gerichtshof und wurde, zwar nicht durch die Folter selbst aber durch Folterandrohung gezwungen, seine Überzeugung von der Richtigkeit des koppernikanischen Systems abzuschwören. Halblaut soll er bei diesem Schwure die Worte: „Und sie bewegt sich doch“ ausgestoßen haben. Das Urteil lautete auf Internierung in Arcetri, einer kleinen Ortschaft bei Florenz. Hier verbrachte der nunmehr 70jährige Greis seine letzten Lebensjahre, inmitten eines kleinen Kreises ihm treu gebliebener Schüler, leider getrübt durch eine vollständige Erblindung, die er sich bei seinen Beobachtungen der Sonne und der damit verbundenen Überanstrengung des Auges zugezogen hatte. Er starb 1642 in einem Alter von 78 Jahren.

Die Dialoge enthalten die Beweisgründe, die Galilei zugunsten des koppernikanischen Systems anzuführen in der Lage ist. Sie zerfallen inhaltlich in 4 „Tage“. Der erste Tag behandelt und widerlegt die aristotelische Lehre vom Weltgebäude. Galilei faßt sie in 4 Hauptthesen zusammen: 1. Die Welt

besteht aus irdischen (elementaren) und himmlischen Körpern. 2. Die Himmelskörper sind unveränderlich und unzerstörbar, die irdischen dagegen vergänglich. 3. Die Erde ruht im Zentrum der Welt und 4. die Gestalt aller Himmelskörper ist die der Kugel. Zur Widerlegung dieser Lehrsätze werden angeführt die Erscheinungen neuer Kometen, neuer Sterne, wie des berühmten Tychonischen aus dem Jahre 1572, die in fortwährender Veränderung begriffenen Sonnenflecken, und der Anblick des Mondes, der mit seinen Gebirgen keineswegs den Eindruck einer geometrisch genauen Kugel mache. Der zweite Tag bespricht zuerst die Gründe für die Bewegung der Erde um die Sonne. Hier konnte Galilei stolz auf seine eigenen Beobachtungen und die mit ihnen verbundene Erweiterung der Grenzen des Weltalls hinweisen. Dann folgen die Gründe für die Rotation der Erde um ihre Achse. So sehr sich Galilei bemüht, auch für diese ebenso sichtbare und augenscheinliche Beweise zu erbringen, wie er sie für die Erdbewegung um die Sonne gegeben zu haben glaubte, so gelingt ihm dies doch nicht. Er muß sich begnügen mit dem Hinweise, daß die auf der Oberfläche der Erde befindlichen Körper von ihr deshalb nicht weggeschleudert werden, weil die Schwungkraft der Erde bedeutend kleiner sei als die Schwere. Aber wenn nicht überzeugend, so wirkte er anregend. Gassendi stellte 1649 im Hafen von Marseille Fallversuche auf schnell dahinfahrenden Schiffen an und fand, daß ein vom Mast herunterfallender Stein parallel und dem bewegten Mastbaume entlang falle und nicht wie die Gegner Galileis glaubten, während der Zeit des Falles, da die Erde unter ihm sich fortbewege, in westlicher Richtung zurückbleibe. Seitdem wurden solche Fallversuche öfters wiederholt, besonders als Newton 1679 bewies, daß im Gegenteile auf der westöstlich sich drehenden Erde ein frei fallender Körper, da er aus einer gewissen Höhe kommend eine größere Geschwindigkeit habe als die Erde unter ihm, infolge des Beharrungsvermögens diese beibehalte und daher sogar ein klein wenig östlich von dem Fußpunkte der Vertikalen ankommen müsse. Die ersten dahin abzielenden Versuche von Hooke mißlangen und erst die sorgfältigst ausgeführten von Benzenberg am Michaelisturme in Hamburg (1802) und von Reich im Dreibrüderschachte bei Freiberg (1831) ergaben mit der Theorie übereinstimmende Resultate. Mit großem Interesse werden ferner die von

Foucault in Paris (1851) ersonnenen und seither vielfach, namentlich auch in Rom wiederholten Pendelversuche verfolgt. In derselben Stadt, wo 1633 Galilei von dem Inquisitionstribunal gezwungen worden war, die Bewegung der Erde abzuschwören, demonstrierte 200 Jahre später der Jesuit Secchi unbeanstandet deren Realität vor allem Volke. Der dritte Tag der Dialoge enthält eine Darlegung des koppernikanischen Systems und der vierte bespricht die Ebbe- und Fluterscheinungen, die Galilei in nicht richtiger Weise als sichtbare Wirkung der Erdrotation auffaßt.

§ 33. So viel Ruhm und Ehre, wie wohl auch Kränkung und Verfolgung Galilei seine astronomischen Entdeckungen brachten, so steht doch sein Ansehen als Physiker noch bedeutend höher. Durch seine grundlegenden Untersuchungen zur Lehre von der Bewegung veröffentlicht in „Mathematische Untersuchungen und Beweise, betreffend zwei neue Wissenszweige der Natur, die Mechanik und die Bewegung", Leyden 1638, erbaute er die Mechanik aus den allerprimitivsten Anfängen. Das Wichtigste, das in diesen neuen Dialogen für die Astronomie erscheint, ist das Gesetz der Trägheit der Körper, das sich darin ausgesprochen findet. Es lautet: ein Körper, der nicht durch bewegungshemmende Umstände daran gehindert wird, sucht seine Geschwindigkeit und Richtung der Bewegung fortwährend beizubehalten.

Bei Galilei spielt das Gesetz noch keine wichtige Rolle. Erst seine Nachfolger, Huyghens und Newton, erkannten dessen wahre Bedeutung und wiesen darauf hin, daß es auf der Erde wegen der hier unausweichlichen Reibungswiderstände und des Widerstandes der Luft keine unendlich lange andauernden Bewegungen geben könne, wohl aber im freien Weltenraume, wo gerade die Bewegungen der Planeten um die Sonne Beispiele solcher sind.

Auch mit dem Wesen und der Wirkungsweise der Schwungkraft rotierender Körper hat sich schon Galilei befaßt, ohne aber zu einem richtigen Ergebnisse zu gelangen. Hierin folgte ihm Huyghens als ein ebenbürtiger Geist. Seine Schlußweise ist die folgende. Nach dem Gesetze der Trägheit bedingt jede Änderung der Geschwindigkeit ihrer Größe wie ihrer Richtung nach das Vorhandensein einer Kraft, welche diese Änderung hervorruft. Wird ein Körper an einem Faden gleichmäßig im Kreise herumgeschwungen, so ist diese krummlinige Bewegung nur durch die Wirkung einer Kraft verständlich, die ihn fortwährend aus der

gradlinigen Trägheitsbahn ablenkt. Die Spannung des Fadens ist diese Kraft, die sich damit als eine gegen das Zentrum der Bewegung hinzielende Kraft Zentripetalkraft äußert, andererseits wird durch sie auch die Achse oder der feste Mittelpunkt des Kreises ergriffen und insofern zeigt sie sich als eine vom Zentrum abgewendete Zentrifugalkraft. Für ihre Größe findet Huyghens den Ausdruck

$$mv^2 / r \text{ oder } 4\pi^2 m r / T^2,$$

wenn m die Masse des Körpers, v seine Bahngeschwindigkeit, r den Radius des Schwungkreises und T die Zeit bedeutet, in welcher der Körper eine Kreisdrehung beschreibt.

§ 34. Beide Gesetze, das der Trägheit und das der Wirkungsweise der Fliehkraft, bilden den Ausgangspunkt der Untersuchungen Newtons, die ihn zu der grandiosen Zusammenfassung der ganzen Astronomie in ein einziges sie beherrschendes Prinzip führten. Beide sagen ihm, daß, um die krummlinige, speziell elliptische Bewegung der Planeten hervorzurufen, nur die Annahme einer einzigen wirkenden Kraft notwendig sei, die als eine ablenkende Kraft gegenüber dem Bestreben der Planeten, sich infolge ihrer Trägheit in gerader Linie unendlich fortzubewegen, auftritt und daher mit der Huyghensschen Schwungkraft zu identifizieren ist. Die nebenstehende Fig. 18 gibt die Erklärung dafür. Ein Planet komme mit einer bestimmten Geschwindigkeit in A an. Er hat infolge der Trägheit das Bestreben, sich in gleicher Richtung und mit gleicher Geschwindigkeit, wie er in A angekommen, fortzubewegen. Sei AB diese Geschwindigkeit ihrer Größe und Richtung nach für eine beliebig angenommene Zeiteinheit. Durch die in A vorhandene

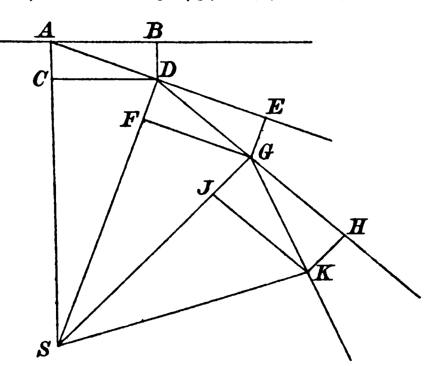


Fig. 18. Das Kepplersche Flächengesetz.

Zentripetalkraft wird er von dieser Richtung gegen *C* abgelenkt und er bewegt sich daher in der Richtung der Diagonale *AD* des aus den beiden Geschwindigkeiten konstruierten Parallelogramms. In *D* angekommen, hat er wieder das Bestreben, die erlangte Geschwindigkeit ihrer Größe und Richtung nach beizubehalten und würde in der angenommenen Zeit sich bis *E* fortbewegen. Aber die auch da vorhandene ablenkende Kraft reißt ihn gegen *F* hin, so daß er in Wirklichkeit die Diagonale des neuen Parallelogramms *DG* zurücklegt und so die gebrochene Linie *ADGK* beschreibt. Das Prinzip der Kontinuiät der Bewegung verlangt, daß diese gebrochene Linie eine kontinuierlich gekrümmte wird, indem damit nur die Tatsache ausgedrückt wird, daß sowohl die Trägheit als auch die ablenkende Kraft ununterbrochen und nicht sprungweise nach Verlauf einer wenn auch noch so klein anzunehmenden Zeit wirken.

Damit ist die krummlinige Bahn der Planeten erklärt als das Ergebnis des Zusammenwirkens der Trägheit und einer ablenkenden Kraft. Da die Trägheit als eine allgemeine Eigenschaft aller Körper gilt, entsteht nur die Frage nach dem Ursprunge der letzteren. In ihrer Beantwortung stellt Newton die Hypothese auf, daß alle Linien *AC*, *DF*, *GJ*, welche die Größe dieser Kraft, d. h. die Längen der durch ihre Einwirkung zurückgelegten Wege vorstellen, sich verlängert in einem Punkte *S* schneiden, und daß dieser Punkt als Ausgangspunkt oder Sitz der ablenkenden Kraft der Mittelpunkt der Sonne sei. Zu dieser Hypothese führt ihn die Analogie mit der irdischen Schwere als Ursache des Falles der Körper auf der Erde, deren Sitz schon im Altertume in den Mittelpunkt der Erde verlegt wurde, wie auch das Studium Kepplers, der bei allen seinen Untersuchungen das Zentrum der die Bewegung der Planeten regelnden Kraft im Mittelpunkte der Sonne suchte. Von dieser Hypothese ausgehend, zeigt Newton weiter, wie alle die Dreiecke, die da entstehen, nämlich *SAD*, *SDG*, *SGK* gleichen Flächeninhalt haben, und man zu dem 2. Kepplerschen Satze gelangt, nach dem ja die Leitstrahlen eines Planeten in seiner Bewegung um die Sonne in gleichen Zeiten gleiche Flächenräume beschreiben sollen. Dadurch erhält dieses Gesetz, das sonst nur eine rein geometrische Beziehung zwischen Flächen auszusprechen scheint, eine wichtige physikalische Bedeutung. Es drückt aus, daß die Bewegung der Planeten eine Zentralbewegung sei, d. h. eine Bewegung, die

unter der Einwirkung einer Kraft stattfinde, die von einem einzigen Punkte gleichsam als ihrem Sitz oder Zentrum ausgehe. Die beiden Sätze: „Die vom Leitstrahl zurückgelegten Flächen sind der Zeit proportional“ und „Die Bewegung der Planeten ist eine Zentralbewegung“, erweisen sich damit als identisch.

Nach diesem ersten äußerst wichtigen Ergebnisse erübrigt Newton noch die Aufgabe, das Gesetz für die Wirksamkeit dieser ablenkenden oder Zentralkraft aufzufinden. Dazu führt ihn das dritte Kepplersche Gesetz, nach welchem die Quadrate der Umlaufzeiten der Planeten sich verhalten wie die dritten Potenzen der Bahnachsen, oder nach welchem in der auf pag. 120 erklärten Schreibweise, sowie in den dort angenommenen Einheiten der Zeit (Jahr) und der Länge (Erdbahnachse = 1)

$$a^3 / T^2 = 1 \text{ oder } a^3 = T^2$$

ist. Newton benutzt für die Größe der Zentralkraft K den von Huyghens aufgestellten Ausdruck, pag. 129, indem er nur in ihm r durch a ersetzt,

$$K = 4\pi^2 a m / T^2,$$

Substituiert man hierin für T^2 a^3, zeigt sich

$$K = 4\pi^2 m / a^2,$$

d. h. das Gesetz, daß die Größe der Zentralkraft mit dem Quadrate der Entfernung im umgekehrten Verhältnisse steht.

So wirken, wie nunmehr Newton schließt, zwei Kräfte harmonisch zusammen, um die elliptische Bewegung der Planeten zu erzeugen. Die erste, die Trägheit allein, würde sie in gerader Linie in unermessene Entfernungen treiben, die zweite, die Zentralkraft, allein wirkend würde sie mit rasend anwachsender Geschwindigkeit in die Sonne stürzen lassen und erst beide vereint ergeben die wirklich stattfindende Bewegung in einer Ellipse.

Insoweit waren die Leistungen Newtons durch Galilei und Huyghens vorbereitet. Doch neben diesen bleibt noch eine durchaus nicht zu unterschätzende Phantasieleistung desselben zu würdigen übrig. Sie besteht in dem Nachweise, daß die Schwere auf der Erde mit dieser Zentralkraft identisch ist. Wendet man nämlich denselben Untersuchungsgang auch auf den Mond an und seine Bewegung um die Erde, so muß jetzt der Sitz der ablenkenden Kraft in der Erde genommen werden und da taucht die Frage auf, wie es sich denn mit ihr und der irdischen Schwere ver-

halte. Newton frägt sich: Wo liegt die Grenze für die Wirkung der Erdschwere? Sollte sie nicht bis zum Monde reichen?

Als ihn dieser mächtige Gedanke beschäftigte, weilte er gerade in seiner Woolsthorper Heimat, wohin er sich aus Cambridge, in welcher Stadt er als Professor wirkte, wegen der dort grassierenden Pest (1666) zurückgezogen hatte. Eine Sage erzählt, daß er in seinem Garten lustwandelnd, einen Apfel vom Baume fallen sah und ihn diese Erscheinung zu der Frage anregte, wo die Grenze für die Anziehung sei, welche das Fallen verursache, wie hoch der Baum sein müßte, damit der Apfel nicht mehr von ihm zur Erde falle? Er kommt eben zu dem Resultate, daß der Baum auch bis zum Monde reichen könnte, ohne daß deshalb die Schwerewirkung aufhöre oder, was ihm nunmehr nach seiner neuen Lehre identisch zu sein scheint, die Ablenkung, die der Mond in jedem Augenblicke durch die Erde erfährt und ihn hindert, in gerader Linie in die Unendlichkeit sich zu bewegen, ist nichts anderes als eine Fallbewegung gegen die Erde, vergleichbar mit der Fallbewegung aller Körper auf ihrer Oberfläche.

Newton berechnet die Größe dieser Ablenkung, erhält aber zunächst die Zahl von $13^1/_3$ engl. Fuß statt $15^1/_2$, welche man damals als Fallbeschleunigung der Körper auf der Erde annahm, indem er, wie schon früher erwähnt wurde, über die Größe der Erde eine falsche Annahme machte. Die große Differenz zwischen beiden Zahlen macht ihn gegen seine neue Theorie mißtrauisch. Er ließ alle seine darauf bezüglichen Untersuchungen fallen und wandte sich wieder seinen optischen Arbeiten zu. Erst im Jahre 1682 wurde in einer Sitzung der Royal Society, der auch Newton beiwohnte, von einer neuen Gradmessung zur Bestimmung der Größe der Erde berichtet und das Resultat, das der französische Astronom Picard erlangte und das sehr von dem allgemein als richtig angenommenen Werte für den Halbmesser der Erde abwich, besprochen. Sofort wurde Newton klar, worin [illegible] seiner ehemaligen Rechnung lag. Eine Sage erzählt [illegible] er sei noch vor Schluß der Sitzung nach Hause [illegible] die Rechnung von neuem zu beginnen, hier habe sich [illegible] eine solche Aufregung bemächtigt, daß er sie nicht selbst [illegible], sondern ihre Ausführung einem Freunde an[illegible] denn auch bald die volle Übereinstimmung [illegible] Beobachtung mitteilen konnte.

Die Rechnung selbst ist die folgende: Der Mond bewegt sich in einer Entfernung von 384 415 km von der Erde, d. i. so viel als 60,2778 Erdhalbmesser à 6377,8 km. Die ganze Länge der Bahn, dieselbe in erster Annäherung als Kreisbahn angesehen, beträgt nach der Formel $2r\pi$ gerechnet, 2 415 000 km. Diese Strecke legt er in $27^d\ 7^h\ 43^m\ 11^s\ 5$ zurück, somit ist seine mittlere Geschwindigkeit 1,0232 km in der Sekunde. Nach der Formel von Huyghens folgt daraus die Größe der sekundlichen Ablenkung zu

$$\frac{v^2}{r} = \frac{(1{,}0232)^2}{384\,415} = 2{,}7235 \text{ mm},$$

d. h. der Mond erhält in jeder Sekunde eine Beschleunigung von 2,7235 mm gegen die Erde und wird nur durch seine Trägheitsgeschwindigkeit von 1023,2 m an seinem Sturze gegen die Erde gehindert. Die Zahl 2,7235 mm stellt daher die Größe der Anziehung der Erde vor, die sie in einer Entfernung ausübt, die 60,2778 mal größer ist als die Entfernung irgend eines Oberflächenpunktes vom Erdmittelpunkte. Somit muß die Anziehung der Erde auf ihrer Oberfläche oder die Fallbeschleunigung der Schwere

$$2{,}7235 \times (60{,}2778)^2$$

sein. Die Rechnung gibt die Zahl 9,895 m statt der aus zahlreichen Beobachtungen folgenden 9,80 m und damit die ersehnte fast volle Übereinstimmung.

Hiermit ist die Lösung der umfassendsten Aufgabe gegeben, die je der Menschengeist sich gestellt. Sie überzeugte Newton von der Richtigkeit der seiner Lehre zugrunde liegenden Annahmen. Er drückte seine Anschauung in den Worten aus: Irgend zwei materielle Teilchen im Raume ziehen einander an. Die Größe dieser Anziehung hängt ab zunächst von der Masse der beiden Körper, aber auch von ihrer Entfernung, und zwar derart, daß die Anziehungskraft im quadratischen Verhältnisse zunimmt bei abnehmender Entfernung und in gleichem Verhältnisse abnimmt bei wachsender Entfernung. Die Schwere ist also nicht mehr etwas der Erde individuell Anhaftendes, sondern sie ist eine allgemeine Eigenschaft der Materie im Raume; denn, so wie die Schwere der Erde bis zum Monde reicht, ja noch über den Mond hinausgreift, so reicht auch die von den anderen Weltkörpern herrührende Anziehung überall hin. Die Schwere

ferner hat ihren Sitz nicht im Erdmittelpunkte allein, sondern jedes noch so kleine Stückchen der Erde sowie jedes anderen Weltkörpers hat daran Anteil, so daß die Anziehung, die zwei Körper aufeinander ausüben, nichts anderes ist als die Summe der wechselseitigen Anziehungen aller Teilchen, aus denen sie zusammengesetzt sind.

Newton gibt der hiermit gefundenen Kraft den bezeichnenden Namen „allgemeine Gravitation“ und darnach heißt auch das Gesetz, nach welchem sie wirkt, das allgemeine oder Newtonsche Gravitationsgesetz.

§ 35. Doch Newton begnügte sich nicht damit, bloß dieses Gesetz aufgefunden zu haben. Er begann sofort seinen ganzen Scharfsinn und seine schon ziemlich bedeutenden mathematischen Kenntnisse dazu zu verwenden, alle aus dem Gesetze fließenden Konsequenzen aufzusuchen. Die gefundenen Resultate legte er in dem Hauptwerke „Principia mathematica philosophiae naturalis“ nieder, das 1687 erschien und von den Zeitgenossen als ein „erstaunlich“ Werk bezeichnet wird.

Die Fülle des in ihm gebotenen Stoffes war auch eine gar zu große und der Stil demzufolge gar zu gedrängt. Eine ungeheuere und verwickelte Menge von Tatsachen war da unter ein einziges Prinzip gebracht. Weite scheinbar gar nicht miteinander zusammenhängende Erscheinungsgebiete wurden miteinander verknüpft. Der dünne Wasserstrahl, der aus einer Röhre fließt, die Wassermassen irgendeines Wasserfalles, die mit donnerndem Gebrause von dem Felsen herniederstürzen, der Ball, den ein Knabe beim Spiel in die Luft wirft, sie alle beschreiben ihre krummen Bahnen nach demselben Gesetze der Gravitation, wie 50000 Meilen weit von der Erde entfernt der Mond sich um diese und in noch ungeheueren Entfernungen die Planeten sich um die Sonne bewegen. Ob der Astronom ferner das richtige Eintreffen einer Sonnenfinsternis erwartet oder ob er mit dem Pendel die Gestalt der Erde bestimmt oder ob er die überwältigende Erscheinung der Ebbe und Flut betrachtet, in allen Fällen ist es dieselbe Gravitationskraft, deren Wirkung ihm da entgegentritt.

Zunächst war es die Figur der Erde, die er aus der Annahme zu bestimmen versuchte, daß sie ursprünglich in einem feurig-flüssigen Zustande war, in diesem Zustande eine bestimmte Form annahm, die dann auch nach der Erstarrung blieb.

Während die Erde sonst wie jede einzig unter der Einwirkung innerer Kräfte stehende Flüssigkeit die Form einer Kugel haben sollte, nimmt sie unter dem Einflusse der durch die Rotation entstehenden Fliehkraft die Form eines an den Polen als den Enden der Rotationsachse abgeplatteten Körpers an. Er machte ferner auch darauf aufmerksam, daß die Schwere auf der Erde nicht überall gleiche Größe haben könne, sondern infolge der ihr entgegenwirkenden Fliehkraft am Äquator kleiner und an den Polen größer sein müsse, und daß sich dieses Ergebnis durch Beobachtungen von Pendelschwingungen und der Messung der Längen von Sekundenpendeln werde verifizieren lassen. Die Länge eines solchen müsse ebenso wie die Schwere auf der Erde veränderlich sein, und zwar am Äquator kleiner als an den Polen. Damit war eine mysteriöse Erscheinung erklärt, die ihrerzeit viel Kopfzerbrechen unter den Gelehrten verursacht hatte. Im Jahre 1670 hatte die französische Akademie den Astronomen Richer nach Cayenne in Südamerika gesandt, um dort astronomische Beobachtungen anzustellen. Dieser fand, daß er sein aus Paris mitgenommenes Sekundenpendel um $^3/_4$ Pariser Linien, d. i. ca. 2 mm verkürzen mußte, um die Länge eines Sekundenpendels für Cayenne zu erhalten.

Newton und von ihm angeregt auch Huyghens versuchten theoretisch die Größe der Abplattung aus der Größe der Rotationsgeschwindigkeit der Erde abzuleiten. Huyghens fand $^1/_{578}$, Newton $^1/_{230}$, während aus den seit dieser Zeit zahlreich und an verschiedenen Orten der Erde ausgeführten Gradmessungen (einige der älteren mögen hier angeführt werden: Peru 1735, Lappland 1736, Kap 1751, Rom 1750 usw.) Bessel durch sorgfältige Diskussion aller den Wert findet (1840):

Äquatoreal-Halbmesser	6377,39715	km
Polar-Halbmesser	6356,07896	„
Differenz	21,31819	km

$$\text{daher Abplattung } \frac{21,31819}{6377,39715} = \frac{1}{299,15}.$$

Sodann war es das Rätsel des Ebbe- und Flutphänomens, das Newton mit einem Schlage aus der Beschleunigung der beweglichen Wassermassen gegen den Mond hin infolge der Anziehung desselben erklärte, wobei in gleicher Weise die Verstärkung der Flut (Hochflut) bei Neu- und Vollmond und ihre Schwächung

VI. Die neueste Zeit.

§ 36. Dem Reichtum an Ideen und Problemen, den die Newtonsche Entdeckung der Astronomie brachte, reiht sich würdig an der Reichtum an Entdeckungen, die man seit Galilei mit dem Fernrohre am Himmel machte. Inhalt und Umfang des astronomischen Wissens wuchsen durch sie in vorher nicht geahnter Weise an.

Huyghens erkannte 1659 mit seinem gegen das galileische schon bedeutende Verbesserungen zeigenden Fernrohre die wahre Gestalt des Saturn, als die einer Kugel, die von einem Ringe umgeben ist, der den Planeten frei umschwebe. Einige Jahre später, im Jahre 1675, machte Cassini in Paris die interessante Wahrnehmung, daß nicht ein Ring, sondern zwei konzentrische Ringe vorhanden seien, ein äußerer etwas weniger heller und ein innerer hellerer und daß beide durch einen breiten, dunkel erscheinenden Streifen voneinander getrennt erscheinen. Ein seltsamer Anblick in der sphäroidischen Welt der Himmelskörper, eine der wunderbarsten Gestalten, die in der Folge auch zu den scharfsinnigen Untersuchungen von Kant und Laplace über die Entstehung des Sonnensystems Veranlassung gab.

Ebenso wie das plötzliche Aufleuchten neuer Sterne, wie des berühmten Tychonischen Sternes aus dem Jahre 1572, machte die Entdeckung eines verschwindenden Sternes im Sternbilde des Walfisches, die im Jahre 1603 Johann Bayer in Augsburg glückte, viel Aufsehen. Erst im Jahre 1641 erkannte Hevel aus wiederholten Beobachtungen dessen wahre Natur als die eines veränderlichen Sternes, d. h. als eines solchen, dessen Helligkeit innerhalb bestimmter Zeitperioden ziemlich regelmäßig ab- und zunehme und nannte ihn aus diesem Grunde Mira Ceti, den Wundersterm aus dem Walfisch. Seine Erscheinung blieb nicht lange isoliert. Schon 1782 erfolgte die Entdeckung eines zweiten veränderlichen Sternes, β im Sternbilde des

Perseus, von den Arabern Algool genannt, dessen Lichtwechsel von einem ganz anderen Charakter ist als der des Mirasterns.

Die Verwendung des Fernrohres reizte ferner zu einer aufmerksameren Beobachtung einer Klasse von Sternen, die im Fernrohre verschieden von den gewöhnlichen nicht als Punkte, sondern als unbestimmte Flecken von diffusem Lichte erscheinen als wie ein Kerzenlicht, das man durch einen halbdurchsichtigen Körper betrachtet. Es sind dies die Sternnebel und Nebelflecke am Himmel. Simon Marius, ein Schüler Tychos, beschrieb im Jahre 1612 den großen Nebel im Sternbilde der Andromeda, Huyghens 1656 den merkwürdigen Nebel im Sternbilde des Orion. Dazu kamen die ebenfalls schon von Galilei untersuchten Sternschwärme oder, wie sie jetzt genannt werden, Sternhaufen, wie die Gruppe der Plejaden und die Krippe im Sternbilde des Krebses. Endlich die Doppelsterne, d. h. Sterne, die am Himmel sehr nahe nebeneinander stehen, so daß das unbewaffnete Auge sie nicht voneinander trennen kann. Anfänglich beachtete man sie nur wenig. Man glaubte, daß sie nur wegen des besonderen Standpunktes des Beobachters so nahe nebeneinander, tatsächlich aber sehr weit voneinander entfernt stehen und nannte sie perspektivisch-optische oder scheinbare Doppelsterne. Nur allmählich entwickelte sich die Ansicht, daß sie wirkliche Verbindungen von zwei oder auch mehreren Sternen zu einem einzigen System darstellen könnten. Christian Mayer begann den Himmel direkt nach solchen Sterntrabanten zu durchsuchen und wurde deshalb verspottet und angegriffen. Erst die Arbeiten des berühmten William Herschel verschafften dieser Anschauung den Sieg. Herschel forderte nicht bloß die Astronomen zu systematischen Beobachtungen dieser Sternpaare auf, sondern gab auch die zweckmäßigste Methode an, wie solche Beobachtungen anzustellen sind. Seine langjährigen Bemühungen (1782—1803) wurden von einem außerordentlichen Erfolge gekrönt. Als er nämlich die Messungen einiger Doppelsterne nach einer mehrjährigen Unterbrechung wieder aufnahm, fand sich, daß einige unter ihnen ihre gegenseitige Stellung geändert hatten, in einer Weise, die keine andere Erklärung als statthaft zuließ, als daß der eine Stern um den anderen eine krummlinige Bahn beschreibe. Es war selbstverständlich der erste Gedanke Herschels, diese Bewegungen den anziehenden Kräften zuzuschreiben, die die zwei Sterne aufeinander

ausüben. Ein strenger Beweis für diese Annahme war bei der Kürze der Zeit, über welche sich die Beobachtungen Herschels erstreckten, noch nicht möglich, allein seit Herschel und auf seine Anregung setzten andere Beobachter die so erfolgreich begonnene Arbeit Herschels fort und bestätigten nach jeder Richtung seine Entdeckung.

So dehnte sich der Bereich der Newtonschen Gravitationskraft mit einem Male noch weiter aus über die Sphäre der Sonne bis zu den Fixsternen, derart, daß auch unter ihnen Systeme bekannt wurden, in denen nach demselben Anziehungsgesetz Umlaufsbewegungen der einzelnen Teile umeinander stattfinden wie im Sonnensystem.

An den Namen Herschels knüpft sich noch eine Entdeckung, die eines neuen großen Planeten, die ihm im Jahre 1781 glückte und durch welche eine unerwartete Erweiterung des Sonnensystems erfolgte. Die Umlaufszeit dieses Planeten, der den Namen Uranus erhielt, beträgt 84 Jahre 7 Tage, so daß er seit seiner Entdeckung erst $1^1/_2$ Umläufe um die Sonne ausgeführt hat. Die große Achse der von ihm um die Sonne beschriebenen Ellipse beträgt 19,183 Erdbahnhalbmesser und ist nahe doppelt so groß als die des Saturn. Anfangs wurde er für einen Kometen gehalten, von dem man annahm, daß seine parabolische Bahn erst in den letzten Jahren durch Einwirkung der alten Planeten in eine elliptische überführt wurde. Doch später mußte man seine planetarische Natur anerkennen, besonders nachdem Herschel schon 1787 zwei Monde entdeckte, die ihn in seiner Bewegung um die Sonne begleiten, zu denen im Jahre 1851 Lassel, der auf der Insel Malta beobachtete, noch zwei weitere auffand. Diese 4 Monde zeigen jedoch die Eigentümlichkeit, daß ihre Bahnen nicht wie die aller anderen Planeten und Monde in der Ebene der Ekliptik liegen, sondern auf ihr fast senkrecht stehen, eine Anomalie, die bis heute ihrer Erklärung harrt und geeignet ist, einen Prüfstein für die Richtigkeit kosmogonischer Hypothesen zu bilden.

Kurze Zeit nach dieser Entdeckung machte eine andere ebenso viel von sich sprechen, die erste Entdeckung eines der kleinen Planeten in der Lücke zwischen Mars und Jupiter. Sie glückte in der ersten Nacht (1. Januar) des Jahres 1801 Piazzi in Palermo, und ihr folgten sofort in den nächsten Jahren drei weitere, nämlich:

1. Planet Ceres 1. Januar 1801 von Piazzi in Palermo,
2. Planet Pallas 28. März 1803 von Olbers in Bremen,
3. Planet Juno 1. September 1803 von Harding in Lilienthal,
4. Planet Vesta 29. März 1807 von Olbers in Bremen.

Diese Entdeckungen waren aber nicht zufällige, wie die Herschelsche des Planeten Uranus, sondern planmäßig vorbereitete. Die pag. 114 erwähnte Regel des Titius wies nämlich auf einen Zwischenraum zwischen Mars und Jupiter hin, in den ein Planet hineinpasse. In dieser Meinung wurden die Astronomen noch mehr bestärkt, als sie fanden, daß auch der neue Planet Uranus der Titius'schen Regel entspreche und, auf sie gestützt, bildete sich eine Gesellschaft von Astronomen mit der Aufgabe, für die Sterne des Zodiakus detaillierte Karten zu entwerfen und an ihrer Hand am Himmel durch eifriges Absuchen nach dem fehlenden Planeten zu fahnden. Die Arbeit war von Erfolg gekrönt. Nur insoweit entsprach sie nicht den gehegten Erwartungen, als man nicht einen, sondern gleich vier Planeten auffand. Bald war man mit einer Theorie zur Erklärung dieses merkwürdigen Ergebnisses da. Man sah die vier Planeten als Bruchstücke eines einzigen an, den irgend einmal eine Katastrophe ereilt habe und glaubte, daß mit ihnen das System abgeschlossen sei.

An diese Entdeckungen schließt sich eine hochbedeutsame Leistung auf theoretisch astronomischem Gebiete an, die mit dem Namen Gauß verbunden ist. Als nämlich der erste der kleinen Planeten, Ceres, entdeckt und durch längere Zeit beobachtet worden war, entstand nach seinem Verschwinden in den Sonnenstrahlen die Frage, wo denn der Planet, wenn er nach einem synodischen Umlaufe von 1 Jahre 3 Monaten wieder zur Sonne in Opposition komme und sichtbar werde, sich dann am Himmel befinden dürfte, da ja sowohl er wie auch die Erde inzwischen um die Sonne bedeutende Wege zurückgelegt haben. Gauß löste dieses Problem, das in der theoretischen Astronomie unter dem Namen des Problems der Bahnbestimmung bekannt ist, in seiner berühmten Arbeit „Theoria motus corporum coelestium" in einer Weise, an welcher selbst die heutige Zeit nur wenig Verbesserungen mehr vorzunehmen brauchte und die bis heute bei den immer weiter folgenden Planetenentdeckungen in fast unveränderter Form verwendet wird.

Ein neues Leben regte sich nach allen diesen bedeutsamen Entdeckungen und theoretischen Leistungen in der Welt der Astronomen. Ein großer Wetteifer entspann sich, sowohl was das Suchen nach neuen Planeten aus der Gruppe zwischen Mars und Jupiter anlangt als auch betreffend ihrer Bahnbestimmung. Das Jahr 1845 brachte die zweite nunmehr ununterbrochen laufende Serie der Entdeckungen der kleinen Planeten. Sie begann mit der Asträa, der sofort 2 Jahre später 3 neue, Hebe, Iris und Flora, folgten und der seitdem ununterbrochen in jedem Jahre 1—2, ja oft bis 16—17 Neuentdeckungen folgen. Die Zahl dieser kleinen Planeten wächst immer mehr besonders in den letzten Dezennien, nachdem man in der Photographie ein Hilfsmittel gefunden, das ihr Aufsuchen bedeutend erleichtert. Sie ist heute schon auf fast 500 gestiegen. Ebenso mehrt sich die Zahl der aufgefundenen Kometen. Auch hier bringt jedes Jahr 4—5 solcher Entdeckungen. Doch das Wichtigste ist, daß sich für jeden Planeten wie für jeden Kometen sofort Rechner fanden und wohl auch jetzt noch finden, die ihre Bahn bestimmen mit größerer oder geringerer Genauigkeit, je nach der Zahl der der Rechnung zugrunde liegenden Beobachtungen und der Länge der Zeit, über welche sich diese erstrecken.

§ 37. Zwei hochbedeutsame Probleme waren der Astronomie seit Koppernikus und Keppler erwachsen und die Folgezeit befaßte sich auch intensiv mit ihrer Lösung. Das erste, das Problem der Bestimmung der Parallaxen von Fixsternen, brachte manche neue und überraschende Entdeckung mit sich. Doch seine endgültige Lösung gelang erst im Jahre 1835 der Beobachtungsfertigkeit eines Bessel. Das zweite Problem ist das der Bestimmung der Sonnenparallaxe. Wie früher pag. 120 erwähnt wurde, hatte Keppler darauf aufmerksam gemacht, daß der Wert, den man bisher für diese Größe als den richtigen angenommen habe, viel zu groß sei und einer gründlichen Neubeobachtung bedürfe.

Koppernikus und seine unmittelbaren Nachfolger konnten mit ihren rohen Instrumenten Winkelunterschiede bloß bis zum Höchstbetrage von 5 Bogenminuten messen. Daß sich ihnen bei ihren Bestrebungen, Parallaxen von Fixsternen aufzufinden, keine zeigten, hatte daher die Bedeutung, als ob sie die Sterne in eine Distanz versetzten, die von der Erde aus gesehen unter einem Winkel von 5′ erscheint, oder, wie man daraus durch

Rechnung findet, 700 Erdbahnhalbmesser beträgt. Nennt man die Distanz der Sterne von der Erde das astronomische Unendlich, wobei die Bezeichnung „Unendlich“ ausdrücken soll, daß das, was außerhalb der gegebenen Entfernung liegt, für den Beobachter unmeßbar sei, so hat dies von Koppernikus gefundene Resultat die Bedeutung, daß das astronomische Unendlich für ihn in einer Entfernung von 700 Erdbahnhalbmessern lag, d. h. daß die Grenzen der Fixsternwelt für ihn in dieser Entfernung waren. Tycho, der sich ebenfalls fleißig mit Messungen von Sternparallaxen beschäftigte, benutzte Instrumente, die ihm gestatteten, Winkelablesungen bis zu einer Genauigkeit von 1′ zu machen. Da sich auch da noch keine Parallaxe zeigte, wuchs sein astronomisches Unendlich auf den 5fachen Wert an, d. i. auf 3500 Erdbahnhalbmesser oder, diesen zu 149 500 000 km angenommen, auf 522 000 Millionen Kilometer.

Die Verwendung des Fernrohres bei astronomischen Beobachtungen als Visiermittel zur Messung von kleinen Winkelunterschieden, die vielfachen Verbesserungen und Fortschritte in der Konstruktion und der Teilung der Kreise zur Ablesung der Winkel und die mit allen diesen Erfindungen Hand in Hand gehende Vervollkommnung der astronomischen Beobachtungskunst, bewirkte, daß die Beobachtungen stets genauer wurden. Merkwürdigerweise rückten damit Sonne und Fixsterne in immer weitere Entfernung von der Erde hinaus. Doch wurde in der Erzielung einer größeren Genauigkeit in der Sonnenparallaxe erst dann ein größerer Fortschritt erlangt, als man die beiden alten Methoden von Aristarch und Hipparch aufgab und an ihre Stelle die Methode der Parallaxenmessungen aus zwei Beobachtungsstationen setzte, analog dem Sehen mit zwei Augen und der Schätzung kleiner Distanzen nach dem Augenmaß. Zu diesem Zwecke wurden größere Expeditionen ausgerüstet, um von zwei möglichst weit voneinander liegenden Punkten gleichzeitig Planeten und Mondbeobachtungen anzustellen. Beobachtungen von Planeten konnten hierbei direkte Sonnenbeobachtungen ersetzen, da nach dem dritten Kepplerschen Gesetze ihre relativen Distanzen von der Sonne im Verhältnisse zu der der Erde von der Sonne äußerst genau bekannt sind und somit, wenn man jene in absolutem Maße (km) angeben konnte, auch damit diese ebenso angebbar war. Eine erste derartige Expedition war die schon erwähnte von Richer (1672) nach Cayenne,

Knoten gefunden. Alle diese Beobachtungsergebnisse, an deren Realität nicht gezweifelt werden konnte, erschienen ganz rätselhaft. Man konnte für sie keine Spur einer Erklärung auffinden. Erst Newton weist nach, daß alle diese Erscheinungen als Störungen aufzufassen seien, die die Planeten durch ihre gegenseitige Anziehung aufeinander ausüben und die der Mond, dessen Bewegung nur durch die Anziehung der Erde erfolgen sollte, durch die störende Wirkung der Sonne erfährt. Er zeigt so, welche Art von störenden Kräften die retrograden Knotenbewegungen, welche Art wieder die fortschreitenden Apsidenbewegungen hervorrufen und gibt durch diese Untersuchungen einen mächtigen Antrieb zu weiteren Forschungen.

Ja noch mehr! Neben allen diesen Bewegungsanomalien der Planeten und des Mondes war noch eine rätselhafte Erscheinung am Himmel, die Präzession, als eine nicht wegzuleugnende Tatsache bekannt, die jedes Erklärungsversuches spottete. Newton gibt auch für sie die richtige Erklärung in einer höchst geistreichen Weise, indem er sie mit der retrograden Bewegung der Knoten der Mondbahn in Analogie setzt. Er faßt die Erde als eine Kugel mit einem äquatorealen Wulst auf, betrachtet diesen Wulst als eine Masse, die wohl mit der Erde fest verbunden ist, sich aber um sie dreht so wie der Mond und schließt nunmehr, daß, so wie die störende Anziehung der Sonne die Tendenz habe, die Bahn des Mondes in die Ekliptik hineinzuziehen und dadurch die Verschiebung ihrer Knoten auf der Ekliptik hervorrufe, ebenso auch eine Tendenz von Sonne und Mond bestehe, diesen äquatorealen Wulst der Erde in die Ekliptik hineinzudrängen. Hierdurch entstehe eine ganz analoge Verschiebung des Erdäquators auf der unveränderlichen Ekliptik, d. h. die Präzession, wie es die retrograde Knotenbewegung des Mondes ist.

Schließlich wendet sich Newton noch den Kometen zu. Nach Tychos grundlegenden Untersuchungen, durch die endlich festgestellt worden war, daß die Kometen selbständige Himmelskörper seien, kam der berühmte Pastor Georg Samuel Dörffel in Plauen im Vogtlande aus seinen zahlreichen Beobachtungen des großen, höchst verwunderlichen und entsetzlichen Kometen vom Jahre 1680 zu dem Resultate, daß dessen Bahn eine Parabel mit dem Brennpunkte in der Sonne sei. In Verallgemeinerung dieses speziellen Falles schließt er daraus, daß wohl die Bahn-

linien aller Kometen Parabeln seien, in deren Brennpunkten die Sonne stehe. Newton zeigt aus seinem Gravitationsprinzipe, daß die Bahnen der Himmelskörper unter der Einwirkung der von der Sonne ausgehenden Anziehung im allgemeinen wohl Ellipsen sind, aber auch Hyperbeln und Parabeln sein können, und daß es mit den Kometen ein spezielles Bewandnis haben müsse, wenn für ihre Bahnen vorerst nur Parabeln aufgefunden wurden. Er gibt auch eine Methode an, wie man aus einigen Positionen eines Kometen dessen parabolische Bahn berechnen könne und sein eifrigster Schüler Halley berechnete nach ihr die Bahnen aller bis zum Schlusse des 17. Jahrhunderts beobachteten Kometen. Hierbei ergab sich ihm das auffällige Resultat, daß die Bahnelemente der Kometen der Jahre 1531, 1607 und 1682 untereinander eine große Ähnlichkeit aufwiesen. Es führte ihn dies auf den Gedanken, ob nicht diese drei Kometen überhaupt identisch seien, d. h. ob die drei Erscheinungen nicht etwa einem Kometen angehören, dessen Bahn um die Sonne dann nicht eine ins Unendliche verlaufende Parabel, sondern eine geschlossene Ellipse sein müßte mit einer Umlaufszeit von 75—76 Jahren. Eine auf Grund dieser Vermutung sorgfältig durchgeführte Rechnung erhob sie zur Gewißheit und so war Halley der Erste, der die Existenz eines sich in einer Ellipse um die Sonne bewegenden und daher nach regelmäßigen Perioden wiederkehrenden Kometen erkannte. Unbekümmert um das „Achselzucken" seiner Zeitgenossen prophezeite er für das Jahr 1759 dessen Wiederkehr. Dieselbe trat in der Tat zur angesetzten Zeit ein, nur mit einer Verfrühung von einem Monat (12. März 1759 statt 13. April) in der Zeit des Periheldurchganges, wiederholte sich 1835, und zwar schon mit der staunenswerten den wachsenden Fortschritten der theoretischen Astronomie auch entsprechend größeren Genauigkeit (16. November 1835 statt 15. November) in der Voraussage des Periheldurchganges und wird für den 17. Mai 1910 wieder erwartet.

VI. Die neueste Zeit.

§ 36. Dem Reichtum an Ideen und Problemen, den die Newtonsche Entdeckung der Astronomie brachte, reiht sich würdig an der Reichtum an Entdeckungen, die man seit Galilei mit dem Fernrohre am Himmel machte. Inhalt und Umfang des astronomischen Wissens wuchsen durch sie in vorher nicht geahnter Weise an.

Huyghens erkannte 1659 mit seinem gegen das galileische schon bedeutende Verbesserungen zeigenden Fernrohre die wahre Gestalt des Saturn, als die einer Kugel, die von einem Ringe umgeben ist, der den Planeten frei umschwebe. Einige Jahre später, im Jahre 1675, machte Cassini in Paris die interessante Wahrnehmung, daß nicht ein Ring, sondern zwei konzentrische Ringe vorhanden seien, ein äußerer etwas weniger heller und ein innerer hellerer und daß beide durch einen breiten, dunkel erscheinenden Streifen voneinander getrennt erscheinen. Ein seltsamer Anblick in der sphäroidischen Welt der Himmelskörper, eine der wunderbarsten Gestalten, die in der Folge auch zu den scharfsinnigen Untersuchungen von Kant und Laplace über die Entstehung des Sonnensystems Veranlassung gab.

Ebenso wie das plötzliche Aufleuchten neuer Sterne, wie des berühmten Tychonischen Sternes aus dem Jahre 1572, machte die Entdeckung eines verschwindenden Sternes im Sternbilde des Walfisches, die im Jahre 1603 Johann Bayer in Augsburg glückte, viel Aufsehen. Erst im Jahre 1641 erkannte Hevel aus wiederholten Beobachtungen dessen wahre Natur als die eines veränderlichen Sternes, d. h. als eines solchen, dessen Helligkeit innerhalb bestimmter Zeitperioden ziemlich regelmäßig ab- und zunehme und nannte ihn aus diesem Grunde Mira Ceti, den Wundersterne aus dem Walfisch. Seine Erscheinung blieb nicht lange isoliert. Schon 1782 erfolgte die Entdeckung eines zweiten veränderlichen Sternes, β im Sternbilde des

Perseus, von den Arabern Algool genannt, dessen Lichtwechsel von einem ganz anderen Charakter ist als der des Mirasterns.

Die Verwendung des Fernrohres reizte ferner zu einer aufmerksameren Beobachtung einer Klasse von Sternen, die im Fernrohre verschieden von den gewöhnlichen nicht als Punkte, sondern als unbestimmte Flecken von diffusem Lichte erscheinen als wie ein Kerzenlicht, das man durch einen halbdurchsichtigen Körper betrachtet. Es sind dies die Sternnebel und Nebelflecke am Himmel. Simon Marius, ein Schüler Tychos, beschrieb im Jahre 1612 den großen Nebel im Sternbilde der Andromeda, Huyghens 1656 den merkwürdigen Nebel im Sternbilde des Orion. Dazu kamen die ebenfalls schon von Galilei untersuchten Sternschwärme oder, wie sie jetzt genannt werden, Sternhaufen, wie die Gruppe der Plejaden und die Krippe im Sternbilde des Krebses. Endlich die Doppelsterne, d. h. Sterne, die am Himmel sehr nahe nebeneinander stehen, so daß das unbewaffnete Auge sie nicht voneinander trennen kann. Anfänglich beachtete man sie nur wenig. Man glaubte, daß sie nur wegen des besonderen Standpunktes des Beobachters so nahe nebeneinander, tatsächlich aber sehr weit voneinander entfernt stehen und nannte sie perspektivisch-optische oder scheinbare Doppelsterne. Nur allmählich entwickelte sich die Ansicht, daß sie wirkliche Verbindungen von zwei oder auch mehreren Sternen zu einem einzigen System darstellen könnten. Christian Mayer begann den Himmel direkt nach solchen Sterntrabanten zu durchsuchen und wurde deshalb verspottet und angegriffen. Erst die Arbeiten des berühmten William Herschel verschafften dieser Anschauung den Sieg. Herschel forderte nicht bloß die Astronomen zu systematischen Beobachtungen dieser Sternpaare auf, sondern gab auch die zweckmäßigste Methode an, wie solche Beobachtungen anzustellen sind. Seine langjährigen Bemühungen (1782—1803) wurden von einem außerordentlichen Erfolge gekrönt. Als er nämlich die Messungen einiger Doppelsterne nach einer mehrjährigen Unterbrechung wieder aufnahm, fand sich, daß einige unter ihnen ihre gegenseitige Stellung geändert hatten, in einer Weise, die keine andere Erklärung als statthaft zuließ, als daß der eine Stern um den anderen eine krummlinige Bahn beschreibe. Es war selbstverständlich der erste Gedanke Herschels, diese Bewegungen den anziehenden Kräften zuzuschreiben, die die zwei Sterne aufeinander

ausüben. Ein strenger Beweis für diese Annahme war bei der Kürze der Zeit, über welche sich die Beobachtungen Herschels erstreckten, noch nicht möglich, allein seit Herschel und auf seine Anregung setzten andere Beobachter die so erfolgreich begonnene Arbeit Herschels fort und bestätigten nach jeder Richtung seine Entdeckung.

So dehnte sich der Bereich der Newtonschen Gravitationskraft mit einem Male noch weiter aus über die Sphäre der Sonne bis zu den Fixsternen, derart, daß auch unter ihnen Systeme bekannt wurden, in denen nach demselben Anziehungsgesetz Umlaufsbewegungen der einzelnen Teile umeinander stattfinden wie im Sonnensystem.

An den Namen Herschels knüpft sich noch eine Entdeckung, die eines neuen großen Planeten, die ihm im Jahre 1781 glückte und durch welche eine unerwartete Erweiterung des Sonnensystems erfolgte. Die Umlaufszeit dieses Planeten, der den Namen Uranus erhielt, beträgt 84 Jahre 7 Tage, so daß er seit seiner Entdeckung erst $1^1/_2$ Umläufe um die Sonne ausgeführt hat. Die große Achse der von ihm um die Sonne beschriebenen Ellipse beträgt 19,183 Erdbahnhalbmesser und ist nahe doppelt so groß als die des Saturn. Anfangs wurde er für einen Kometen gehalten, von dem man annahm, daß seine parabolische Bahn erst in den letzten Jahren durch Einwirkung der alten Planeten in eine elliptische überführt wurde. Doch später mußte man seine planetarische Natur anerkennen, besonders nachdem Herschel schon 1787 zwei Monde entdeckte, die ihn in seiner Bewegung um die Sonne begleiten, zu denen im Jahre 1851 Lassel, der auf der Insel Malta beobachtete, noch zwei weitere auffand. Diese 4 Monde zeigen jedoch die Eigentümlichkeit, daß ihre Bahnen nicht wie die aller anderen Planeten und Monde in der Ebene der Ekliptik liegen, sondern auf ihr fast senkrecht stehen, eine Anomalie, die bis heute ihrer Erklärung harrt und geeignet ist, einen Prüfstein für die Richtigkeit kosmogonischer Hypothesen zu bilden.

Kurze Zeit nach dieser Entdeckung machte eine andere ebenso viel von sich sprechen, die erste Entdeckung eines der kleinen Planeten in der Lücke zwischen Mars und Jupiter. Sie glückte in der ersten Nacht (1. Januar) des Jahres 1801 Piazzi in Palermo, und ihr folgten sofort in den nächsten Jahren drei weitere, nämlich:

1. Planet Ceres 1. Januar 1801 von Piazzi in Palermo,
2. Planet Pallas 28. März 1803 von Olbers in Bremen,
3. Planet Juno 1. September 1803 von Harding in Lilienthal,
4. Planet Vesta 29. März 1807 von Olbers in Bremen.

Diese Entdeckungen waren aber nicht zufällige, wie die Herschelsche des Planeten Uranus, sondern planmäßig vorbereitete. Die pag. 114 erwähnte Regel des Titius wies nämlich auf einen Zwischenraum zwischen Mars und Jupiter hin, in den ein Planet hineinpasse. In dieser Meinung wurden die Astronomen noch mehr bestärkt, als sie fanden, daß auch der neue Planet Uranus der Titius'schen Regel entspreche und, auf sie gestützt, bildete sich eine Gesellschaft von Astronomen mit der Aufgabe, für die Sterne des Zodiakus detaillierte Karten zu entwerfen und an ihrer Hand am Himmel durch eifriges Absuchen nach dem fehlenden Planeten zu fahnden. Die Arbeit war von Erfolg gekrönt. Nur insoweit entsprach sie nicht den gehegten Erwartungen, als man nicht einen, sondern gleich vier Planeten auffand. Bald war man mit einer Theorie zur Erklärung dieses merkwürdigen Ergebnisses da. Man sah die vier Planeten als Bruchstücke eines einzigen an, den irgend einmal eine Katastrophe ereilt habe und glaubte, daß mit ihnen das System abgeschlossen sei.

An diese Entdeckungen schließt sich eine hochbedeutsame Leistung auf theoretisch astronomischem Gebiete an, die mit dem Namen Gauß verbunden ist. Als nämlich der erste der kleinen Planeten, Ceres, entdeckt und durch längere Zeit beobachtet worden war, entstand nach seinem Verschwinden in den Sonnenstrahlen die Frage, wo denn der Planet, wenn er nach einem synodischen Umlaufe von 1 Jahre 3 Monaten wieder zur Sonne in Opposition komme und sichtbar werde, sich dann am Himmel befinden dürfte, da ja sowohl er wie auch die Erde inzwischen um die Sonne bedeutende Wege zurückgelegt haben. Gauß löste dieses Problem, das in der theoretischen Astronomie unter dem Namen des Problems der Bahnbestimmung bekannt ist, in seiner berühmten Arbeit „Theoria motus corporum coelestium" in einer Weise, an welcher selbst die heutige Zeit nur wenig Verbesserungen mehr vorzunehmen brauchte und die bis heute bei den immer weiter folgenden Planetenentdeckungen in fast unveränderter Form verwendet wird.

Ein neues Leben regte sich nach allen diesen bedeutsamen Entdeckungen und theoretischen Leistungen in der Welt der Astronomen. Ein großer Wetteifer entspann sich, sowohl was das Suchen nach neuen Planeten aus der Gruppe zwischen Mars und Jupiter anlangt als auch betreffend ihrer Bahnbestimmung. Das Jahr 1845 brachte die zweite nunmehr ununterbrochen laufende Serie der Entdeckungen der kleinen Planeten. Sie begann mit der Asträa, der sofort 2 Jahre später 3 neue, Hebe, Iris und Flora, folgten und der seitdem ununterbrochen in jedem Jahre 1—2, ja oft bis 16—17 Neuentdeckungen folgen. Die Zahl dieser kleinen Planeten wächst immer mehr besonders in den letzten Dezennien, nachdem man in der Photographie ein Hilfsmittel gefunden, das ihr Aufsuchen bedeutend erleichtert. Sie ist heute schon auf fast 500 gestiegen. Ebenso mehrt sich die Zahl der aufgefundenen Kometen. Auch hier bringt jedes Jahr 4—5 solcher Entdeckungen. Doch das Wichtigste ist, daß sich für jeden Planeten wie für jeden Kometen sofort Rechner fanden und wohl auch jetzt noch finden, die ihre Bahn bestimmen mit größerer oder geringerer Genauigkeit, je nach der Zahl der der Rechnung zugrunde liegenden Beobachtungen und der Länge der Zeit, über welche sich diese erstrecken.

§ 37. Zwei hochbedeutsame Probleme waren der Astronomie seit Koppernikus und Keppler erwachsen und die Folgezeit befaßte sich auch intensiv mit ihrer Lösung. Das erste, das Problem der Bestimmung der Parallaxen von Fixsternen, brachte manche neue und überraschende Entdeckung mit sich. Doch seine endgültige Lösung gelang erst im Jahre 1835 der Beobachtungsfertigkeit eines Bessel. Das zweite Problem ist das der Bestimmung der Sonnenparallaxe. Wie früher pag. 120 erwähnt wurde, hatte Keppler darauf aufmerksam gemacht, daß der Wert, den man bisher für diese Größe als den richtigen angenommen habe, viel zu groß sei und einer gründlichen Neubeobachtung bedürfe.

Koppernikus und seine unmittelbaren Nachfolger konnten mit ihren rohen Instrumenten Winkelunterschiede bloß bis zum Höchstbetrage von 5 Bogenminuten messen. Daß sich ihnen bei ihren Bestrebungen, Parallaxen von Fixsternen aufzufinden, keine zeigten, hatte daher die Bedeutung, als ob sie die Sterne in eine Distanz versetzten, die von der Erde aus gesehen unter einem Winkel von 5′ erscheint, oder, wie man daraus durch

Rechnung findet, 700 Erdbahnhalbmesser beträgt. Nennt man die Distanz der Sterne von der Erde das astronomische Unendlich, wobei die Bezeichnung „Unendlich“ ausdrücken soll, daß das, was außerhalb der gegebenen Entfernung liegt, für den Beobachter unmeßbar sei, so hat dies von Koppernikus gefundene Resultat die Bedeutung, daß das astronomische Unendlich für ihn in einer Entfernung von 700 Erdbahnhalbmessern lag, d. h. daß die Grenzen der Fixsternwelt für ihn in dieser Entfernung waren. Tycho, der sich ebenfalls fleißig mit Messungen von Sternparallaxen beschäftigte, benutzte Instrumente, die ihm gestatteten, Winkelablesungen bis zu einer Genauigkeit von 1′ zu machen. Da sich auch da noch keine Parallaxe zeigte, wuchs sein astronomisches Unendlich auf den 5fachen Wert an, d. i. auf 3500 Erdbahnhalbmesser oder, diesen zu 149 500 000 km angenommen, auf 522 000 Millionen Kilometer.

Die Verwendung des Fernrohres bei astronomischen Beobachtungen als Visiermittel zur Messung von kleinen Winkelunterschieden, die vielfachen Verbesserungen und Fortschritte in der Konstruktion und der Teilung der Kreise zur Ablesung der Winkel und die mit allen diesen Erfindungen Hand in Hand gehende Vervollkommnung der astronomischen Beobachtungskunst, bewirkte, daß die Beobachtungen stets genauer wurden. Merkwürdigerweise rückten damit Sonne und Fixsterne in immer weitere Entfernung von der Erde hinaus. Doch wurde in der Erzielung einer größeren Genauigkeit in der Sonnenparallaxe erst dann ein größerer Fortschritt erlangt, als man die beiden alten Methoden von Aristarch und Hipparch aufgab und an ihre Stelle die Methode der Parallaxenmessungen aus zwei Beobachtungsstationen setzte, analog dem Sehen mit zwei Augen und der Schätzung kleiner Distanzen nach dem Augenmaß. Zu diesem Zwecke wurden größere Expeditionen ausgerüstet, um von zwei möglichst weit voneinander liegenden Punkten gleichzeitig Planeten und Mondbeobachtungen anzustellen. Beobachtungen von Planeten konnten hierbei direkte Sonnenbeobachtungen ersetzen, da nach dem dritten Kepplerschen Gesetze ihre relativen Distanzen von der Sonne im Verhältnisse zu der der Erde von der Sonne äußerst genau bekannt sind und somit, wenn man jene in absolutem Maße (km) angeben konnte, auch damit diese ebenso angebbar war. Eine erste derartige Expedition war die schon erwähnte von Richer (1672) nach Cayenne,

während die korrespondierenden Beobachtungen Cassini in Paris machte. Sie gab als Wert der Sonnenparallaxe 9″,5, d. h. als Distanz von der Erde 140 Mill. km. Eine zweite war die des Jahres 1750, bei der Lacaille am Kap und Lalande in Berlin beobachteten. Sie gab Werte, die zwischen 8″,5 und 10″,2 liegen. Neuere verwandte Bestimmungen geben Werte, die sich nur wenig mehr von diesen unterscheiden. Encke setzt die Sonnenparallaxe (1824) zu 8″,55, Hansen (1854) zu 8″,9, Leverrier (1861) zu 8″,95, während gegenwärtig als der richtigste Wert 8″,80 angenommen wird, womit die Distanz der Sonne von der Erde nach 2000jährigen Bestrebungen (von Aristarch an gerechnet) endgültig zu 23 450 Erdhalbmesser oder 149 500 000 km folgt mit einer Unsicherheit, die noch immer etwa 200 000 km beträgt.

Die erste Bestimmung einer Fixsternparallaxe gelang erst Bessel im Jahre 1835. Er wählte zu seinem Versuche den Doppelstern 61 im Sternbilde des Schwanes, weil er ihn wegen seiner großen Eigenbewegung für der Erde sehr nahe hielt und aus diesem Grunde bei ihm eine große Parallaxe vermutete. Er fand für sie einen Wert von 0″,37. Um daraus die Entfernung des Sternes von der Erde zu bestimmen, hat man sich ein Dreieck zu denken, dessen Basis die Entfernung Erde—Sonne = 149 500 000 km beträgt und dessen Winkel am Scheitel 0″,37 mißt oder dessen beiden anderen Seiten bis auf einen solch kleinen Winkel einander parallel laufen (Fig. 12). Für die Distanz der Sterne von der Erde folgt daraus die enorme Zahl von 55 470 Erdbahnhalbmesser = 83 Billionen km, eine Zahl, die, wie man glaubt, dadurch verständlicher gemacht wird, daß man sie in Lichtjahren ausdrückt, d. h. in Jahren, welche das Licht braucht, um eine solche Strecke zurückzulegen. Man findet 8,8 Lichtjahre. Dabei darf man aber nicht vergessen, daß das Licht selbst mit der unermeßlichen Geschwindigkeit von 300 000 km in der Sekunde sich im Raume ausbreitet. Seitdem haben, dem Beispiele Bessels folgend, viele andere Astronomen Parallaxen von Fixsternen gemessen. Ihre Beobachtungen zeigten, daß die Sterne in den verschiedensten Entfernungen von der Erde sich befinden. Die größte Parallaxe wurde bisher an dem am südlichen Sternenhimmel sichtbaren Sterne α im Sternbilde des Centaurus im Betrage von 0″,75 beobachtet. Es entspricht ihr eine Distanz von 41 Billionen km

= 4,4 Lichtjahren. Dann kommt Aldebaran mit einer Parallaxe von 0″,5, d. h. einer Distanz von 61 Billionen km = 6,5 Lichtjahren. Doch gibt es auch Sterne, deren Parallaxe 0″,1 ist, deren Distanz von der Erde daher 310 Billionen km = 33 Lichtjahre beträgt, aber auch solche, deren Parallaxe noch unter 0″,1 liegt. Damit wuchs das astronomische Unendlich weit über jede vorstellbare Grenze hinaus.

Mit der Parallaxenmessung des Sternes a im Sternbild des Centaurus war gleichzeitig eine erste Massenbestimmung eines Fixsternes verbunden, die natürlich einen Wahrscheinlichkeitsschluß auf die Größe aller Fixsterne im Vergleiche zur Sonne gestattet. Dieser Stern ist nämlich ein Doppelstern, in welchem der Begleiter um den Hauptstern in der Zeit von 87,4 Jahren einen vollen Umlauf beschreibt in einer Ellipse, deren große Achse eine scheinbare Größe von 18″,9 hat, d. h. einem Beobachter auf der Erde unter einem Sehwinkel von diesem Betrage erscheint. Diesem Winkel entspricht in der angenommenen Distanz des Sternes von der Erde von 41 Billionen km eine wirkliche Größe von 3800 Millionen km oder 25,1 Erdbahnhalbmessern. Man hat daher in dem Ausdrucke für das dritte Kepplersche Gesetz a^3/T^2 $a=25{,}1$ $T=87{,}4$ zu setzen und erhält

$$a^3/T^2 = 2{,}08,$$

womit gesagt ist, daß der Hauptstern auf seinen Begleiter eine anziehende Kraft ausübt, die 2,08 mal so groß ist als die Anziehung der Sonne auf die Planeten, oder daß seine Masse (besser die Massen beider Sterne zusammen) 2,08 mal die der Sonne übertrifft. Eine solche Massenbestimmung gelang auch in dem Doppelsternsystem des Sirius und zeigte, daß dieser hellste Stern des bei uns sichtbaren Teiles des Himmels eine etwa 2,25 mal so große Masse habe als die Sonne. Aus beiden Bestimmungen folgt die allgemeine Behauptung, daß unter den vielen Millionen von Sternen, die als Fixsterne den uns umgebenden Weltenraum bevölkern, nicht erheblich größere Massen vorkommen als es die Sonne in unserem speziellen System ist. Allerdings ist die Zahl solcher Massenberechnungen noch keine sehr große. Sie umfaßt kaum 30 Sterne. Die Wahrscheinlichkeit für die Richtigkeit der Behauptung dürfte trotzdem keine geringe sein.

§ 38. Die Entdeckung der Aberration des Lichtes, die im Jahre 1721 Bradley bei seinem Durchmustern des Himmels nach Sternparallaxen glückte, erregte ebenfalls bedeutendes Auf-

Alle diese Errungenschaften, mehr oder weniger mit der Entdeckung der Newtonschen Gravitationskraft im Zusammenhang stehend, änderten das Weltbild bedeutend. Die letzten Spuren der alten Theorie der Kristallsphären schwanden, selbst die Vorstellung Kepplers, daß die Fixsternsphäre einer Schale gleiche, welche das ganze Sonnensystem umhülle und den Zweck habe, die von der Sonne ausgestrahlte Menge von Licht und Wärme ihr durch Reflexion wieder zurückzuerstatten, erwies sich als eine irrige. Frei und unbehindert konnte der menschliche Geist nunmehr in vorher kaum geahnte Himmelsräume wandern. Sonne, Mond und Planeten erscheinen ihm da wie die Erde als freischwebende Kugeln. Getragen einzig durch die Anziehungskraft, die sie aufeinander ausüben, gleichsam wie durch ein unsichtbares Band bilden sie einen wohlgeordneten Mechanismus, dessen Triebkraft in allen ihren Wirkungen selbst bis zur kleinsten Unregelmäßigkeit, die sie in den Bewegungen seiner einzelnen Glieder hervorruft, genau berechenbar und bestimmbar ist. Ebenso können die Millionen von Sternen, die in einer klaren, sternhellen Nacht am Himmel dahinziehen als ebensolche Sonnen als ebensolche wohlgeordnete Mechanismen angesehen werden, nur alle voneinander getrennt durch Zwischenräume von so bedeutender Größe, daß die Menschen sich umsonst bemühen, sie vorstellbar zu erfassen.

§ 40. Trotz dieses Reichtums an Ideen und an teils schon gelösten, teils ihrer Lösung entgegenharrenden Problemen war die Aufnahme, welche die Newtonsche Entdeckung in wissenschaftlichen Kreisen fand, eine geteilte. Eine ganz andere Weltanschauung war damals die herrschende und die Newtonsche hatte mit ihr fast die gleichen Kämpfe auszufechten, wie ehemals die koppernikanische gegen die des Aristoteles. Es war dies die Wirbeltheorie des französischen Philosophen Descartes. Das Wesentliche derselben besteht in der Annahme, daß die ganze Welt sich aus drei verschiedenen Stoffen nach Art der aristotelischen Elemente zusammensetze, die Gott vom Ursprung der Welt an erschaffen und jede mit einer gewissen Bewegungsgröße versehen habe. Die erste Art ist die grobe schwere Materie. Sie hat die kleinste Bewegungsgröße und aus aus ihr formten sich die dunken Weltkörper, nämlich die Planeten, Monde und Kometen. Die zweite Art ist eine feinere Materie als die erstere; sie ist die verbreitetste im ganzen Weltalle, denn sie

durchdringt dasselbe ganz wie eine Flüssigkeit und in ihr schwimmen die dunklen Himmelskörper. Ihre Teilchen sind in einer sehr raschen hin- und hergehenden Bewegung begriffen, die man sich wie die Wirbelbewegungen vorzustellen hat, welche man an einem Wasserstrudel wahrnimmt, wenn er schwimmende Körper in seine Kreise hineinzieht und mit sich reißt. Die dritte feinste Materie hat die schnellste Bewegung, nimmt daher stets die Stellung im Mittelpunkte der Wirbel ein, wo sie sich zu den selbstleuchtenden Sonnen und Fixsternen konzentriert. Die Bewegung der Planeten erfolgt derart, daß sie in der zweiten flüssigen Materie schwimmen, von den nicht rein kreisförmigen sondern ein wenig von der Kreisform abweichenden elliptischen Wirbeln mitgerissen werden und dadurch den Anschein erwecken, als ob sie sich nach bestimmten Gesetzen in elliptischen Bahnen bewegen. In Wirklichkeit aber ruhen sie alle, sowie auch die Erde ruht und nur die sie umschließende Flüssigkeit ist in einer raschen Bewegung begriffen. Von einer Bewegung der Planeten sprechen, heißt so viel, als von der Bewegung eines Menschen sprechen, der im Schiffe schlafend die Überfahrt von Dover nach Calais mitmacht.

Diese neue Weltanschauung hatte sich mit merkwürdiger Geschwindigkeit besonders in Frankreich und England verbreitet. Sie besaß den Vorzug einer großen Anschaulichkeit. Denn jedermann hatte schon kleine Gegenstände in Wasserwirbeln im Kreise herumtreiben gesehen und konnte sich daher vorstellen, wie die Planeten in ähnlichen Wirbeln in einem den ganzen Weltenraum erfüllenden Medium herumtreiben. Dem gegenüber verlangte die Newtonsche Lehre die schwierigere Vorstellung von Weltkörpern, die im leeren Weltraume schweben sollten, einzig durch eine geheimnisvolle den Teilchen der Körper innewohnende anziehende Kraft gelenkt.

Lange jedoch konnte gegen die reine Induktion, die sich in der Newtonschen Entdeckung ausspricht, die Descartes'sche mit ihrem doch mehr oder weniger phantastischen Inhalt nicht Stand halten. Langsam, aber sicher bahnte sich das Newtonsche Weltsystem seinen Weg. Etwa vom Jahre 1700 an war in der Physik und in der Astronomie von einer cartesianischen Philosophie nicht mehr die Rede. Die Astronomie wurde seitdem nichts anderes als eine Anwendung der Theorie der Newtonschen Gravitation auf alle Bewegungsvorgänge in den weiten Himmelsräumen.

Die Übereinstimmung der Theorie mit allen noch so komplizierten und mannigfachen Erscheinungen wurde bald eine so vollständige und genaue, wie in keinem anderen Zweige des menschlichen Wissens. Wenn hie und da die Übereinstimmung fehlte, Abweichungen zwischen dem aus der Theorie berechneten und dann wirklich am Himmel durch Beobachtung festgestellten Ort eines Planeten sich zeigten und man so glaubte, daß das Newtonsche Gesetz doch nicht völlig ein wahres Naturgesetz sei, so ergab bald eine neuerliche unter größeren Kautelen durchgeführte Rechnung die Unrichtigkeit der Vermutung. Es zeigte sich, daß da entweder in der Rechnung ein Versehen vorgekommen, oder ein Störungsglied als zu unbedeutend angesehen und vernachlässigt worden, und das, was als ein gegen die absolute Richtigkeit des Newtonschen Gesetzes sprechender Grund hervorgehoben wurde, erwies sich in der Folge als eine neue und glänzende Bestätigung desselben.

Man wurde so immer kühner und kühner und schloß, wenn irgendwo sich wieder eine Abweichung zeigte, auf das Vorhandensein noch unbekannter störender Körper, d. h. eines wohl existierenden aber noch nicht entdeckten Planeten, ohne mehr einen Angriff gegen die Richtigkeit des Newtonschen Gesetzes zu wagen. Bekannt ist in dieser Richtung die Vorausberechnung des Planeten Neptun aus den Abweichungen zwischen der wirklichen und berechneten Bewegung des Uranus. Der deutsche Astronom Bessel war der erste, der die Vermutung aussprach, daß dieses Nichtstimmen der Bahn des Planeten Uranus sich durch die Annahme eines unbekannten Planeten werde erklären lassen, der in noch größerer Entfernung von der Sonne als dieser sich bewege. In einem 1840 in Königsberg gehaltenen Vortrag spricht er die denkwürdigen Worte aus: „Man muß nicht glauben, daß dieser merkwürdige Fall gegen die Anziehungslehre selbst streite. Wahrscheinlich wird gerade die Lehre von der Anziehung den hier berührten Fall erklären, indem sie zugleich eine Entdeckung im Sonnensystem ergeben wird. Fernere Versuche der Erklärung dieser Bewegungsanomalien werden nämlich die Absicht verfolgen, einem unbekannten Planeten jenseits des Uranus eine Bahn und eine Masse anzuweisen, welche so beschaffen ist, daß daraus Störungen des Uranus hervorgehen, welche die jetzt nicht vorhandene Übereinstimmung seiner Berechnung herstellen." In der Tat war Bessel ernstlich mit dieser

Berechnung beschäftigt. Er wäre auch der Mann gewesen, sie zu vollenden, aber eine unheilbare Krankheit machte allen seinen Plänen ein Ende. So unterzog sich auf die Veranlassung Aragos hin der junge französische Astronom Leverrier dieser Aufgabe und der Berliner Astronom Galle fand den Planeten tatsächlich nicht weit von der vorausberechneten Stelle. Wohl eine der glänzendsten Leistungen des menschlichen Geistes, ein Triumph der Astronomie, welcher überall in gelehrten und nichtgelehrten Kreisen das größte und auch ein berechtigtes Aufsehen erregte. Das Jahr 1846, in welchem die Berechnung Leverriers veröffentlicht wurde und die Entdeckung durch Galle in Berlin erfolgte, wird stets ein denkwürdiges Jahr in der Geschichte der Astronomie sein.

Bald folgte dieser Entdeckung eine neue ebenso bedeutungsvolle im speziellen Gebiete der Doppelsterne. Zwei Fixsterne, der eine, Procyon, im Sternbilde des kleinen, und der leuchtende Sirius in dem des großen Hundes erregten durch kleine Unregelmäßigkeiten, die sich in ihren Eigenbewegungen zeigten und die die verfeinerte Messungskunst der Astronomen nachgewiesen hatte, die Aufmerksamkeit Bessels. Noch in seinen letzten Tagen am Sterbebette schreibt er an Humboldt: „Ich beharre in dem Glauben, daß Procyon und Sirius wahre Doppelsterne sind, bestehend aus einem sichtbaren und unsichtbaren Sterne.“ Die Vermutung Bessels bestätigte sich auch hier glänzend. Der Begleiter des Sirius wurde im Jahre 1868 durch Alvan Clark in Boston entdeckt, der Begleiter des Procyon erst im Jahre 1898, beide sind zwar nicht sehr lichtschwache, sondern nur wegen der großen Helligkeit der Hauptsterne in deren Nähe schwer zu sehende Sterne.

§ 41. Seit der Entdeckung Galileis, welche die Frage nach der Natur und dem Wesen der Milchstraße in endgültiger Weise löste, bis auf Herschel und in neuester Zeit Seeliger befaßten sich die Astronomen vielfach mit der Frage nach der Anordnung der Fixsterne im Weltgebäude, d. h. mit ihrer Zahl und ihrer Verteilung am Himmel. Leider sind die bisher erlangten Kenntnisse hierüber noch sehr geringfügige und es hat den Anschein, als ob selbst heute noch die Ansicht als die richtigste anzusehen wäre, welche den ganzen Sternhimmel mit einer Staubwolke vergleicht, deren einzelne Teile durch Zufall zusammengeführt und durch zufällige Ursachen in Bewegung gesetzt worden seien.

Kant, der berühmte Meister der deutschen Philosophie, war der erste, der in seiner „Naturgeschichte des Himmels“ Ansichten darüber ausspricht, die ihrem Hauptinhalte nach noch heute als zutreffend gelten. Die Fixsterne, die man mit freiem Auge, wie auch mit Hilfe von Fernrohren an der hohlen Tiefe des Himmels wahrnimmt, sind nach ihm nichts anderes als Sonnen, d. h. Mittelpunkte von Systemen, in denen alles ebenso eingerichtet ist wie in unserem Sonnensystem, in denen speziell alle Bewegungen durch die Gravitation und Trägheit geregelt erscheinen. Die einzelnen Systeme selbst sind durch ebensolche Kräfte aneinander gefesselt und beschreiben umeinander Bahnen, deren Umlaufszeiten vielleicht auf mehrere Millionen von Jahren zu schätzen sind, die sich aber dennoch schon in den sehr kleinen Eigenbewegungen der Fixsterne offenbarten. Namentlich wäre eine Analogie zwischen den Sonnensystemen und der Milchstraße hervorzuheben. So wie es in jenem eine Hauptebene gibt, in der die Planeten vorzugsweise ihre elliptischen Bahnen beschreiben, nämlich die Ekliptik, so gibt es für den ganzen Sternenhimmel eine Hauptebene, die Milchstraße, in welcher die Bewegungen der Fixsterne vorzugsweise stattfinden und in der es daher mehr als in irgend einem anderen Teile des Raumes von Sternen wimmeln müsse. Es ist, meint Kant, daher zu verwundern, daß die Beobachter des Himmels nicht schon längst durch die Beschaffenheit dieser am Himmel kenntlichen Zone bewogen wurden, besondere Bestimmungen über die Lage der Fixsterne und ihre Anordnung daraus abzuleiten.

Die bedeutungsvollsten Untersuchungen über die räumliche Verteilung der Sterne verdankt jedoch die Astronomie Herschel, den man als den eigentlichen Begründer der Stellarastronomie bezeichnet. Herschel betrachtet es als seine erste Aufgabe, sich zunächst das zur Erforschung der Gestalt und des Baues des Himmels notwendige Beobachtungsmaterial zu sammeln. Zu diesem Zwecke unternahm er die sogenannten Star-gages, das sind Sterneichungen oder Abzählungen der Sterne, welche er an verschiedenen Teilen des Himmels in seinem Spiegelfernrohre von 18 Zoll Öffnung sah, das bei einer Vergrößerung von 157 ein Gesichtsfeld von etwas über 15′ hatte. Da ein solches Gesichtsfeld dem 833 000 Teile des ganzen Himmelsgewölbes entspricht, so wären 833 000 solcher Eichungen vorzunehmen, um den ganzen Himmel zu durchforschen. Herschel führte nur 3400 für

den nördlichen Himmel durch und vereinigte mehrere zu einem Mittel, so daß im Ganzen 683 Mittelwerte übrig blieben, die natürlich je nach der Gegend am Himmel eine außerordentlich verschiedene Anzahl von Sternen aufweisen.

Auf Grundlage der Sterneichungen kommt Herschel zu dem Resultate, daß der ganze Sternenhimmel die Form einer flachen Linse mit unregelmäßig gestalteter Oberfläche besitze, deren Längenachse 850 und deren kürzere Querachse 150 Einheiten umfasse, während die Gesamtzahl der Sterne, soweit sie in seinem Fernrohre von 18 Zoll Öffnung wahrnehmbar sind, etwa 27 Millonen betrage. Als Einheit der Entfernung gilt die mittlere Distanz der Sterne erster Größe, die das Licht in 16 Jahren zurücklegt, so daß die Längsachse der Linse eine Länge von 14 000, die Querachse von 2500 Lichtjahren besitzt. Das wesentlich neue dieser Anschauung liegt jedoch darin, daß die Milchstraße nicht als eine reale Anhäufung von Sternen sondern als eine Wirkung der Perspektive anzunehmen sei, hervorgerufen dadurch, daß die Menschen in der Richtung der Querachse sehend eine andere Sternverteilung wahrzunehmen glauben als bei Durchsicht nach ihrer Längsachse oder Hauptebene, während in Wirklichkeit die räumliche Verteilung der Sterne im Mittel überall eine ziemlich gleichmäßige ist.

Seit Herschel (1785) hat sich das Beobachtungsmaterial bedeutend vermehrt. In erster Linie durch die berühmte Bonner nördliche Durchmusterung, ein Werk, das ein Resultat einer mehrjährigen Tätigkeit Argelanders in Bonn in drei stattlichen Bänden (1859 bis 1862 erschienen) die genäherten Positionen aller Sterne von der ersten bis zur neunten Größenklasse vollzählig enthält, im ganzen 314 952 Sterne des nördlichen Himmels bis 1° südlicher Deklination. Ferner durch die Fortsetzung dieser Arbeit auf dem in Bonn sichtbaren Teile des südlichen Himmels bis zu 23° südlicher Deklination, die Schönfeldsche südliche Durchmusterung (1884 erschienen). Ebenfalls ist hierher zu rechnen eine sehr sorgfältig durchgeführte Arbeit Celorias in Mailand, welcher mit einem Fernrohre von 10 cm Öffnung alle sichtbaren Sterne zwischen 0° und 11° nördlicher Deklination abzählte.

Dieses reichhaltigere Beobachtungsmaterial verwertet Prof. Seeliger in München in einer Reihe sehr eingehender und tief durchdachter Studien (1898) und gelangt zu folgenden Ergeb-

nissen: Der ganze Fixsternhimmel hat die Form einer abgeplatteten Kugel, deren Äquator oder Ausbauchung mit der Milchstraße zusammenfällt. Die Sternerfüllung in ihr ist für die Sterne der verschiedenen Größenklassen eine verschiedene. (Darin liegt der Hauptunterschied gegen die Herschelsche Ansicht.) Die helleren mit freiem Auge sichtbaren Sterne (von 1—6) zeigen eine mehr gleichmäßig verlaufende Dichte, die schwächeren bis zur Größenklasse 11,5 eine merkliche Anhäufung gegen die Milchstraße hin, die schwächsten Sterne dagegen, bis zur Größenklasse 13,5, sind in dieser vorzugsweise vertreten und stehen da dicht gedrängt. Der Glanz der Milchstraße wird daher nicht durch die hellen mit freiem Auge sichtbaren Sterne, sondern durch die schwächsten Sterne verursacht. Teilt man den Himmel in 9 Zonen, die in der Breite von je 20° parallel zur Milchstraße verlaufen, und zwar so, daß Zone 1 und 9 von ihr am weitesten entfernt sind, jene nördlich, diese südlich, daß dann Zone 2 und 8, hierauf 3 und 7, 4 und 6 und schließlich Zone 5 als der Milchstraßengürtel selbst kommen, so zeigt umstehende Tabelle im Mittel das Ergebnis der genäherten Rechnungen Seeligers. Hierbei ist unter einer Siriusweite eine Entfernung verstanden, welche 10 Lichtjahren entspricht, d. h. etwa 80 Billionen Kilometer.

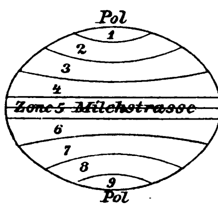


Fig. 19.
Die Teilung des Fixsternhimmels nach Seeliger.

	Größe der kleinsten in der Zone sichtbaren Sterne	Entfernung in Siriusweiten
Pol der Milchstraße	11,5	500
Zone 1 und 9	11,6	525
„ 2 „ 8	11,8	575
„ 3 „ 7	12,0	625
„ 4 „ 6	12,4	750
„ 5	12,8	900
Milchstraße	13,5	1 100

Diese Tafel stellt, wie Seeliger sagt, das typische Bild unseres Fixsternsystems vor, d. h. ein Bild aller jener Gesetzmäßigkeiten, die im großen und ganzen in ihm vorhanden sind. In Wirklichkeit werde wohl der wahre Himmel sich von diesem

typischen Bilde noch sehr unterscheiden, aber die Feststellung dieser Unterschiede gehöre mehr der Detailforschung an, die hier lebhaft ihre Tätigkeit beginnen soll und für die es auch kein schöneres wichtigeres und lohnenderes Beobachtungsthema gibt als das eben erwähnte.

Ob die anderen Objekte am Himmel wie die Sternhaufen und Nebelflecke auch zu diesem engeren Fixsternsystem gehören, darüber ist eine Entscheidung noch nicht gesichert. Manche Wahrnehmungen führen zu der Ansicht, daß sie ebenso wie die Fixsterne einen integrierenden Teil des ganzen Systems bilden. Hauptsächlich der Photographie, dem neuesten Hilfsmittel der Astronomie in ihrer nächtlichen Tätigkeit, verdankt man manche Beobachtung, die die Seeligersche Lehre zu bestätigen scheint, daß das ganze Universum aus einem einzigen Sternsystem gleich einer Insel im unendlichen Raume bestehe. Wahrnehmungen dieser Art sind: Die Größe der Eigenbewegung mancher Nebel, ihre Entfernung von der Sonne, deren tatsächliche Bestimmung Werte lieferte, die ihrer Größe nach denen der Fixsterne koordiniert sind. Ferner ihre Verteilung am Himmel, darnach die Zahl der Nebel zunimmt mit der Entfernung von der Milchstraße, während bei den Sternhaufen gerade das Entgegengesetzte der Fall ist und für beide eine gleichmäßige Verteilung am Himmel am wahrscheinlichsten sein müßte. Dazu kommen noch andere ganz seltsame Beziehungen, die zwischen Sternhaufen, Nebeln und Fixsternen bestehen. Die schwachen Sterne zeigen eine gewisse Tendenz zu Gruppenbildungen oder kettenartigen Aneinanderreihungen. Wo dann am Himmel eine solche Kette von Sternen zu sehen ist, kann man sofort, sie über den Himmel eine kleine Strecke verfolgend, einen Nebel auffinden und ebenso umgekehrt, hat man einen Nebel am Himmel gesehen, wird man beobachten können, wie sich die Struktur der Nebelmasse in eine Sternreihe fortsetzt. In gleicher Art erscheinen auch die Sternhaufen, die zumeist nur in der Milchstraße vorkommen, am häufigsten in Form von Sternwirbeln oder Spiralen, deren Zentrum eben der Sternhaufen einnimmt.

Alle diese eigentümlichen Erscheinungen weisen darauf hin, daß Nebel und Sternhaufen mit unserem Fixsternsystem ein einheitliches Ganzes bilden. Sie weisen ferner darauf hin, daß zwischen allen diesen Körpern ganz eigentümliche geheimnisvolle Kräfte wirken müssen, welche sie zwingen, sich in solche gewaltig

ausgedehnten Spiralen anzuordnen und dann zu größeren Gruppen vereint im Raume dahinzuschwimmen. Fragt man nach der Natur dieser Kräfte, so ist es schon als ein Verdienst der Seeligerschen Theorie über die Konstitution des Milchstraßensystems anzusehen, uns mit einiger Wahrscheinlichkeit über sie Auskunft zu geben. Denn indem die Theorie sagt, daß in der Milchstraße die Sterne dichter aneinander stehen als in anderen Teilen des Himmels, macht sie es sehr wahrscheinlich, daß diese geheimnisvollen Kräfte wohl nur mit den zwischen den Körpern wirkenden Newtonschen Gravitationskräften identisch sein dürften, die ja da, wo die Sterne dichter nebeneinanderstehen, eine größere Rolle spielen als in solchen Teilen des Himmelsraumes, in denen die Materie nur spärlich vertreten ist.

§ 42. Aber neben der Sonne mit ihrem Gefolge von Planeten, jeder wieder begleitet von einem oder gar mehreren Monden, neben den vielen Millionen von Fixsternen, von denen jeder einzelne wieder der Zentralkörper eines Systems von Planeten und Monden sein dürfte, gibt es noch andere Körper am Himmel. Hie und da taucht, wie bekannt, ein Komet zum Schrecken abergläubischer Menschen am Himmel auf und durchwandelt seine bestimmte Bahn. Weitere Beobachtung des Himmels zeigt die schönen mehr oder weniger hell aufleuchtenden Sternschnuppen, die in so anmutiger Weise die Ruhe des nächtlichen Himmels beleben. Oft und dies zumeist in nach regelmäßigen Zwischenäumen wiederkehrenden Zeiten steigert sich ihre Zahl so ins Unendliche, daß sich dann am Himmel ein Feuerwerk von kaum zu beschreibender Pracht und Größe entfaltet. Viele dieser Sternschnuppen fallen auch auf die Erde. Mit einem donnernden Getöse scheinen sie durch die Luft zu fliegen, schlagen auf den Erdboden auf, bohren sich tief in sie ein und entwickeln beim Falle eine Helligkeit, die bewirkt, daß sie oft selbst gegen den hellsten Sonnenschein nicht verbleichen. Alle diese Erscheinungen weisen darauf hin, daß das eben geschilderte Weltbild noch keineswegs vollständig ist sondern einer Ergänzung bedarf. Und hier wird nach dem gegenwärtigen Standpunkt der Wissenschaft die Ergänzung als die richtigste angesehen, die annimmt, daß der ganze Weltenraum außer mit Sonnen oder Fixsternen und ihren Dienern, den Planeten und Monden, auch noch mit zahllosen kleinen Körpern erfüllt ist, teils in dichterer, teils in feinerer Verteilung, daß diese Körper oder, wie man sie zu

nennen pflegt, der kosmische Staub, nach allen möglichen Richtungen im Raume herumschwärmen. Wenn sie dann auf ihrer Bahn in den Bereich der irdischen Atmosphäre gelangen, bilden sie die einzeln erscheinenden oder sporadischen Sternschnuppen. Ziehen sie aber in dichteren Schwärmen und in regelmäßigen elliptischen Bahnen um die Sonne einher, so schneiden sie den Weg der Erde an bestimmten Stellen und tauchen deshalb an besonderen Jahrestagen immer wieder auf. Solche Sternschnuppenschwärme sind die im Volksmunde unter den Namen der Tränen des heiligen Laurentius im August erscheinenden Perseiden, so genannt, weil sie aus dem Sternbild des Perseus zu kommen scheinen, ferner die Novemberschwärme der Leoniden, die aus dem Sternbilde des Löwen in die Erdatmosphäre eindringen und noch viele andere. Zugleich ergab eine aufmerksame Beobachtung das merkwürdige Resultat, daß gewisse Kometen in den Bahnen dieser Meteorschwärme mitlaufen. Sie führte Schiaparelli in Mailand zur Aufstellung der Theorie, daß Kometen und Meteorschwärme identische Himmelserscheinungen seien, indem entweder die Kometen als die primären Himmelskörper anzusehen wären, die sich allmählich in Meteorschwärme auflösen oder aber diese die ursprünglichen Körper seien, deren besonders dichte Anhäufungen an manchen Stellen uns als Kometen erscheinen.

Die Verschärfung der Beobachtung der Kometen an der Hand der Fortschritte der modernen Messungskunst, ihre Vervollständigung ferner, ermöglicht durch die großen Fernrohre, die es gestatten, daß die Astronomen nunmehr sie durch bedeutend längere Zeit verfolgen können, als es vorher mit freiem Auge möglich war, lieferte das Ergebnis, daß die meisten Kometen sich in elliptischen Bahnen um die Sonne bewegen, wie wohl diese Ellipsen meist sehr langgestreckt sind, so daß ihre Umlaufszeit in ihnen oft nach mehreren Tausenden von Jahren zählt. Hiermit wird die Ansicht begründet, daß die Kometen als ständige Mitglieder dem Sonnensystem als unserem engeren Vaterlande angehören. Immerhin gibt es aber auch solche, die parabolische oder hyperbolische d. h. nicht geschlossene Bahnen um die Sonne beschreiben. In diesem Falle muß angenommen werden, daß diese Kometen oder kometarischen Ansammlungen von kosmischem Staub aus dem fernen Weltenraume aus dem Anziehungsbereich irgend einer

fremden Sonne in die Sphäre unserer Sonne geraten, um nach einem kurzen Laufe um diese, während dessen sie sichtbar werden, wieder von dannen zu gehen, angezogen von einer anderen fremden Sonne. Sie sind für unser Sonnensystem das, was die anmutig dahinschießenden Sternschnuppen für unsere Erde sind: Gäste, die uns Erdenbewohner nur für kurze Zeit besuchen, durch ihren Anblick erfreuen, bald aber wieder verschwinden, und uns während ihrer Sichtbarkeit von den Vorgängen in den fernen Sternenwelten erzählen. Einem Bewohner eines solchen Kometen würde tatsächlich die ganze Welt offen stehen. Nicht im ewigen unaufhörlichen Laufe auf streng vorgeschriebenem Wege würde er sich einzig um die Sonne bewegen und Umlauf um Umlauf den gleichen Wechsel der Jahreszeiten, das gleiche Erwachen und Wiederabsterben des organischen Lebens wahrnehmen, sondern er würde alle Teile der ganzen unermeßlichen Welt durchziehen, von seinem Standpunkte aus viele fremde Welten sehen und immer reichere Erfahrungen sammeln, als es uns Erdenbewohnern in unserer räumlichen Beschränkung möglich ist.

Neben den Kometen und Meteoren deuten auch die Erscheinungen der neuen Sterne auf die Existenz kosmischer Staubmassen in den Räumen zwischen den Sternen hin. Man hat es bekanntlich bei diesen nicht etwa mit ganz neuen Schöpfungen zu tun, die nach kurzer Dauer wieder in das Nichts zurücksinken, sondern vielmehr mit dem plötzlichen Aufleuchten alter Sterne, das mit irgend einer auf ihnen sich abspielenden Katastrophe in Zusammenhang steht. Zur Erklärung dieser Erscheinungen sind bisher zwei Hypothesen aufgestellt worden. Die eine schreibt die enorme Helligkeitsveränderung solcher Sterne explosiven Ausbrüchen von Gasmassen zu, die in höchster Temperatur und Dichte den innersten Kern des Sternes bilden, an seine Oberfläche gelangen und dadurch diese so bedeutend erhitzen, daß der Stern plötzlich hellstrahlend wird. Auch auf der Sonne finden derartige Ausbrüche statt, die als Protuberanzen bekannt sind. Mit der allmählichen Ausstrahlung der Wärme in den freien Raum schwindet wieder langsam die Helligkeit der erhitzten Oberfläche und der Stern kehrt in seinen früheren Zustand zurück. Nach der zweiten Hypothese wird angenommen, daß ein solcher Stern in seiner eigenen Bewegung im Weltenraum zufällig in eine Region eintritt, die besonders dicht mit kosmischen Staubmassen erfüllt ist. Diese stürzen durch die nun mächtig wirkende

Anziehung des Sternes mit rasender Geschwindigkeit in dessen Atmosphäre hinein und erzeugen eine solch enorme Wärmemenge, daß seine Oberfläche in höchste Glut gerät. Letztere Theorie hat in einigen Erscheinungen, die der im Februar 1901 sichtbar gewordene neue Stern im Sternbilde des Perseus aufwies, eine glänzende Bestätigung gefunden. Photographische Daueraufnahmen desselben ergaben nämlich das eigentümliche Resultat, daß sich nicht bloß am Sterne selbst sondern auch in seiner Nähe Helligkeitsveränderungen zeigten, daß diese von Tag zu Tag sich weiter ausbreiteten und dabei an Helligkeit abnahmen. Man hat diese Erscheinung erklärt durch die Wanderung der Reflexwirkungen der hellleuchtenden Strahlen des neuen Sternes an den in seiner Umgebung befindlichen ausgebreiteten kosmischen Staubmassen, eine Erklärung, die eine Analogie findet an den Wanderungen des Widerhalles des Donners an den Bergwänden in einer gebirgigen Landschaft

§ 43. Nicht unbedenklich erscheint dagegen, wenn die Annahme einer solchen Stauberfüllung des ganzen Weltenraumes festgehalten wird, ihre Wirkung auf die Bewegung der Planeten um die Sonne. Diese findet dann nicht mehr im leeren Raume statt sondern in einem Raume, der, wie behauptet, eine ungeheure Menge teils fein, teils grob verstreuter schwerer Masse enthält, was zu zahllosen Kollisionen wie auch zu Reibungswiderständen Veranlassung geben kann. Der erste und nächste Einfluß dieser störenden Wirkungen wäre eine Verkürzung der Umlaufszeiten der Planeten um die Sonne. In immer enger und enger werdenden Windungen mit stets wachsender Geschwindigkeit würden sie spiralförmige Bahnen um die Sonne beschreiben und endlich in sie stürzen, so wie ein Pendel durch den Luftwiderstand allmählich seine Geschwindigkeit verliert, immer kleinere und kleinere Schwingungsbogen beschreibt, bis er endlich zur Ruhe kommt. In der Tat hat man auch schon in einer Bewegungsanomalie, welche der nach dem Berliner Astronomen Encke benannte periodische Komet von 3,3 Jahren Umlaufszeit zeigt und die darin besteht, daß sein Umlauf um die Sonne sich immer mehr verkürzt, das Resultat einer solchen Widerstandseinwirkung zu konstatieren geglaubt. Hierbei wurde dem Äther, als dem Träger der Licht- und Wärmewellen, die Rolle des widerstehenden Mediums zuerkannt. Nach den neuesten Untersuchungen Backlunds in Pulkowa, des Berechners dieses Kometen,

kann jedoch diese Ansicht nicht aufrecht erhalten werden, hauptsächlich aus dem Grunde, weil die Verkürzung der Umlaufszeit nicht regelmäßig von Umlauf zu Umlauf sondern meist sprungweise erfolgt. Wahrscheinlicher ist daher die Annahme, daß sie durch Kollisionen mit dem kosmischen Staub verursacht wird, der keine gleichmäßige Verteilung um die Sonne sondern in dem vom Kometen in seiner Sonnennähe durchlaufenen Bahnstück eine besonders dichte Stelle, d. h. eine lokale Anhäufung haben mag.

Es ist nun von Interesse zu hören, daß sich eine solche Verkürzung der Umlaufszeit bisher weder bei der Erde noch bei einem anderen Planeten und einem seiner Monde hat konstatieren lassen. Dieses schöne interessante uns Menschen auch besonders am Herzen liegende Resultat ergibt sich aus dem Vergleiche älterer Beobachtungen über die Perioden der Planeten oder über das Eintreffen einer Sonnen- oder Mondesfinsternis mit analogen Beobachtungen der Gegenwart. Wenn Hipparch bei der Bestimmung der Umlaufszeiten von Mond und Sonne die chaldäische Mondesfinsternis benutzt, die am 18. Thot des 28. Jahres der Ära des Nabonassar, 11 Uhr 10 Minuten, mittlere Zeit Alexandriens, d. h. nach der gegenwärtigen Zeitrechnung am 8. März 720 v. Chr. stattgefunden hatte und die Eintrittszeit dieser Finsternis sich fast bis auf die Minute genau auch aus den modernen Mond- und Sonnentafeln ergibt, so ist dies ein unwiderlegbarer Beweis für die Unveränderlichkeit der Dauer eines Jahres, also der Umlaufszeit der Erde um die Sonne ebenso wie der Dauer eines Umlaufes des Mondes um die Erde. Und was für die eine Finsternis gilt, hat sich ebenso für alle anderen ziemlich zahlreichen Finsternisse bewahrheitet, die von den griechischen Astronomen überliefert wurden. Jedenfalls sind die Reibungswiderstände gegen die Bewegung der Planeten so gering, daß sie sich seit den historischen Zeiten, von denen ab Berichte über Sonnen- und Mondesfinsternisse oder über Planetenkonstellationen am Himmel vorliegen, bis heute der Wahrnehmung entzogen. Ihr Einfluß kann daher erst nach weiteren Tausenden oder gar Millionen von Jahren hervortreten. In diesem Sinne ist an der Stabilität des Sonnensystems nicht zu zweifeln, wenn auch nicht zu verkennen ist, daß die volle Wahrheit den Menschen auf Jahrtausende hin verschlossen bleiben dürfte.

§ 44. Zu allen diesen Errungenschaften und Erfolgen der modernen Astronomie brachte das Jahr 1868 noch eine höchst bedeutsame Erfindung durch Gustav Kirchhoff, die Erfindung eines ganz neuen Hilfsmittels oder Organes zur Erforschung der Himmelskörper, das in der kurzen Zeit seit seiner Erfindung schon die gleiche Wichtigkeit erlangte wie das Fernrohr seit dem Anfang des 17. Jahrhunderts. Der Lichtstrahl, der viele Millionen Meilen weit aus den fernsten Himmelsräumen zu unserem Auge gelangt, verkündet beim Durchgang durch das Fernrohr die Anwesenheit des Sternes, von dem er kommt und die Richtung, in der er zu sehen ist. Er läßt ferner, wenn an Stelle des Okulars am Fernrohr eine lichtempfindliche Platte sich befindet, auf dieser eine Spur zurück, die mit den Spuren anderer Sterne verglichen eine Messung seiner Intensität, d. h. der Sternhelligkeit gestattet. Beim Durchgang durch das neue Hilfsmittel, das dreiseitige Glasprisma, verkündet er noch weit mehr, nämlich die chemische Beschaffenheit oder innere Zusammensetzung des Sternes, dem er entstammt. Sowie in der Physik die Spektralanalyse, so entwickelte sich auch in der Astronomie auf Grund dieser neuen Erfindung ein neuer Zweig, die Astrophysik, dessen Hauptziel die Ergründung der inneren Konstitution der Himmelskörper bildet und der auch schon Erfolge aufzuweisen hat, die weit darüber hinausgehen, was man sich je von der Wissenschaft zu erlangen erträumt hat.

Die Astrophysik gibt zunächst eine experimentell wohl begründete Theorie der Sonne. Sie bestätigt das schon früher aus Wahrscheinlichkeitsgründen erschlossene Resultat, daß die Fixsterne als Sonnen anzusehen sind, durch den Nachweis, daß ihre Spektra dem Spektrum der Sonne gleichen bis auf geringe Unterschiede, die zur Einteilung der Fixsterne nach drei Spektraltypen führten. Sie gibt ferner in Verbindung mit der Messung über die Menge der von der Sonne ausgestrahlten Energie Auskunft über die Temperatur der Sonne wie auch der Fixsterne. Sie liefert durch ganz minimale aber doch meßbare Verschiebungen der dunklen Linien im Spektrum der Fixsterne auf Grund des von Doppler aufgestellten Prinzips eine neue Methode zur Bestimmung ihrer Eigenbewegung. Sie zeigt auf gleichem Wege durch den Nachweis der Veränderlichkeit dieser Eigenbewegungen, daß viele unter den veränderlichen Sternen äußerst enge Doppelsterne

sind und daß mithin ihr Lichtwechsel durch das Vorbeiziehen dunkler Begleiter vor dem hellen Zentralsterne entsteht.

Die Anwendung des neuen Organes der Forschung änderte wohl in keiner Weise das Weltbild, das sich die moderne Astronomie auf Grund der Arbeiten von Koppernikus, Keppler und Newton und auf Grund der Entdeckungen mit dem Fernrohre geschaffen. Es trug im wesentlichen nur dazu bei, das Bild durch Detailforschungen über die Konstitution der Himmelskörper zu ergänzen und zu vervollständigen. Es hat so den Anschein als ob dieses Bild schon als ein nach allen Seiten hin zutreffendes und vollständiges anzusehen ist, das keine weitere Umänderung mehr erfahren dürfte. Wenn dies auch der Fall sein sollte, so ist jedoch damit keineswegs gesagt, daß es der kommenden Generation an astronomischen Problemen mangeln werde. Noch immer harren viele ihrer Lösung und die Menge der gelösten Aufgaben und damit der bekannten Tatsachen ist gegenüber der Menge der noch unbekannten Wahrheiten eine äußerst geringe. Ich weiß nicht, sagt Newton in bescheidener Weise, wie ich der Welt erscheine, aber mir selbst komme ich vor wie ein Knabe, der am Meeresufer spielt und sich damit freut, daß er dann und wann einen glatten Kiesel oder eine schönere Muschel als sonst findet. Der große Ozean der Wahrheit liegt aber immer noch unerforscht vor mir.

Druck von Th. Hofmann in Gera.

Verlag von B. G. Teubner in Leipzig und Berlin.

DIE KULTUR DER GEGENWART

IHRE ENTWICKLUNG UND IHRE ZIELE

HERAUSGEGEBEN VON PROF. PAUL HINNEBERG

In 4 Teilen. Lex.-8. Jeder Teil zerfällt in einzelne inhaltlich vollständig in sich abgeschlossene und einzeln käufliche Bände (Abteilungen).

Die „Kultur der Gegenwart" soll eine systematisch aufgebaute, geschichtlich begründete Gesamtdarstellung unserer heutigen Kultur darbieten, indem sie die Fundamentalergebnisse der einzelnen Kulturgebiete nach ihrer Bedeutung für die gesamte Kultur der Gegenwart und für deren Weiterentwicklung in großen Zügen zur Darstellung bringt. Das Werk vereinigt eine Zahl erster Namen aus allen Gebieten der Wissenschaft und Praxis und bietet Darstellungen der einzelnen Gebiete jeweils aus der Feder des dazu Berufensten in gemeinverständlicher, künstlerisch gewählter Sprache auf knappstem Raume.

Teil I: Die geisteswissenschaftlichen Kulturgebiete. 1. Hälfte. Religion und Philosophie, Literatur, Musik und Kunst (mit vorangehender Einleitung zu dem Gesamtwerk).

[illegible]

Teil II: Die geisteswissenschaftlichen Kulturgebiete. 2. Hälfte. [illegible]

[illegible]

Teil III: Die naturwiss[illegible]

Teil IV: Die technischen [illegible]

Verlag von B. G. Teubner in Leipzig und Berlin.

Teil I, Abt. 7: Die orientalischen Literaturen. [illegible]

Teil I, Abt. 8: Die griechische und lateinische Literatur und Sprache. Inhalt: I. Die griechische Literatur und Sprache. [illegible] U. v. Wilamowitz-Moellendorff. [illegible] — II. Die lateinische Literatur und Sprache. [illegible] — Die lateinische Sprache: [illegible] 3. Auflage. [illegible] Preis geh. ℳ 10.—, in Leinwand geh. ℳ 12.—

Teil I, Abt. 9: Die osteuropäischen Literat[illegible]**wischen Sprachen.** Inhalt: Die russische Literatur: A. Wesselo[illegible] — [illegible]

Teil I, Abt. 10: Die romanische Lite[illegible] [illegible]

Teil II, Abt. 5: Staat und Ge[illegible]**rikas in der Neuzeit.** [illegible]

Teil II, Abt. 8: Sy[illegible] [illegible]

B. G. Teubners Allgemeiner Katalog

[illegible]

